ELABORATO DI PROGETTO

Istanza di Permesso di Ricerca di Idrocarburi a Mare “d 68 F.R-.TU”

TRANSUNION PETROLEUM Italia S.r.l.
Viale Isacco Newton n.6
00151 Roma (Italia)

SOMMARIO

1 INTRODUZIONE 4

1.1 IMPOSTAZIONE DELL'ELABORATO DI PROGETTO 4
1.2 DESCRIZIONE DEL COMMITTENTE 4

2 QUADRO PROGETTUALE 5

2.1 UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO 5
2.2 FINALITÀ DELL'INTERVENTO 6
2.3 PROGRAMMA LAVORI 7
2.3.1 Fase operativa di ricerca 7
2.3.2 Fase operativa di perforazione 7
2.4 DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ IN PROGETTO 8
2.4.1 Indagine geofisica: generalità 8
2.4.2 Sorgenti di propagazione dell'energia 10
2.4.3 Generazione dei segnali sismici 10
2.5 DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE ADOTTATE NELLA RICERCA SISMICA *OFF-SHORE* 13
2.5.1 Sorgente di energizzazione: l'air-gun 14
2.5.2 Parametri operativi di progetto per l'acquisizione sismica con air-gun 17
2.5.3 Tipologia delle attrezzature di registrazione 20
2.5.4 Navi per la prospezione sismica a mare 23
2.5.5 Modalità operative 25
2.5.6 Specifiche tecniche delle metodologie adottate e tempi di esecuzione 25
2.5.7 Eventuali opere di ripristino 25
2.6 DESCRIZIONI DELLE EVENTUALI OPERAZIONI DI PERFORAZIONE 26
2.6.1 Tipologia delle piattaforme di perforazione off-shore 26
2.6.2 Sistema di posizionamento dinamico 31
2.6.3 Tecniche di perforazione del pozzo 32
2.6.4 Attività conclusive 35
2.6.5 Tecniche di prevenzione dei rischi ambientali 36
2.7 EMISSIONI SONORE 36
2.8 OCCUPAZIONE DELLO SPECCHIO D'ACQUA 38
2.9 EMISSIONI IN ATMOSFERA 39
2.10 RIFIUTI 39

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.1 – Ubicazione con relativo perimetro dell'area in istanza di permesso di ricerca "d 68 F.R-.TU" con indicazioni della batimetria 5

Figura 2.2 – Ubicazione dell'area in istanza a mare denominata "d 68 F.R-.TU" con indicazione dei vertici elencati in tabella 6

Figura 2.3 – Esempio di sezione sismica non interpretata (Progetto ViDEPI – www.nmig.sviluppoeconomico.gov.it) 11

Figura 2.4 – Esempio di sistema di registrazione a copertura multipla. L'onda sismica riflessa dallo stesso punto P viene registrata da diversi geofoni per ogni spostamento dello stendimento (fonte: www.oilandgaslawyerblog.com) 12

Figura 2.5 – Esempio di acquisizione sismica *on-shore* e *off-shore* (fonte: www.aapg.org) 13

Figura 2.6 – Esempio di stendimento e linea di acquisizione sismica in mare (fonte: www.aapg.org) 14

Figura 2.7 – Schema di funzionamento di un "*air-gun*", diviso nelle fasi di Carica "*Armed*", Scoppio "*Fired*" e Rilascio "*Implosion*" (fonte: www.usgs.gov) 15

Figura 2.8 – Ampiezza normalizzata in dB per un array di *air-gun* configurato nella direzione parallela al moto della nave sismica (a) e perpendicolare al moto della nave (b), (fonte: www.nmfs.noaa.gov) 16

Figura 2.9 – Disposizione spaziale dei singoli elementi che compongono l'array secondo il modello 4330. In verde sono rappresentati i *cluster* (elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica) in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio nel caso di mal funzionamento 18

Figura 2.10 – Modello dello spettro della pressione sonora per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330 19

Figura 2.11 – Modello dello spettro di ampiezza per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330 20

Figura 2.12 – Serie di idrofoni usati per la prospezione sismica *off-shore* (fonte: www.oilonline.com) 21

Figura 2.13 – *Streamer* o cavo sismico per l'acquisizione (fonte: www.geo.uib.no) 22

Figura 2.14 – Boa di coda alla quale viene fissata l'altra estremità dello *streamer* (fonte: www.mitchamindustries.com) 22

Figura 2.15 – Piattaforma di perforazione autosollevante (*Jack-up*) in navigazione trainata da rimorchiatori, a sinistra (fonte: www.en.murmanshelf.ru) e in fase di perforazione, a destra (fonte: www.pvdrilling.com.vn) 28

Figura 2.16 – Pilone di sostegno in navigazione per una Compilant tower (a sinistra) e piattaforma operativa (a destra) (fonte: www.*off-shore*-technology.com) 28

Figura 2.17 – Schema di un impianto di perforazione semisommergibile, a sinistra (fonte: Treccani, 2009) e immagine di una piattaforma *semisub* in navigazione, a destra (fonte: www.worldmaritimenews.com)..... 29

Figura 2.18 – Esempio di nave di perforazione o *drilling ship* (fonte: www.drillingahead.com) 30

Figura 2.19 – T*hrusters*, generatori di spinta, che servono a contrastare le correnti marine e i venti in superficie, i quali porterebbero il mezzo alla deriva. Il *thrusters* è il mezzo per il posizionamento satellitare dinamico, associato al GPS, più utilizzato ed è in grado di mantenere perfettamente la verticale sulla testa del pozzo (fonte: www.sname.org) 32

Figura 2.20 – Torre di perforazione dove il moto rotazionale è affidato al *top drive* 33

Figura 2.21 – Profilo di un pozzo. A destra è possibile osservare che il diametro del *casing* diminuisce con l'aumentare della profondità (fonte: www.sciencedirect.com). A sinistra particolare di una batteria di *casing*..... 35

Figura 2.22 – Curve di Wenz: l'asse verticale mostra i valori dei livelli sonori (dB re 1 µPa), mentre quello orizzontale le frequenze (fonte: Wenz, 1962)..... 37

Studio preparato da G.E.Plan Consulting S.r.l.

Redatto	**Approvato**
Dott. Valentina Negri, Dott. Stefano Borello	Dott. Geol. Raffaele di Cuia

1 INTRODUZIONE

Il proposito del presente elaborato è quello di fornire un quadro esaustivo dell'attività proposta, con livello tecnico di approfondimento sufficiente ad indicare i parametri dimensionali e strutturali del progetto, completi di cartografia tematica di descrizione del sito e dell'area circostante.

Il progetto si riferisce all'attività di acquisizione di dati geofisici a mare, all'interno dell'area di istanza di permesso di ricerca per idrocarburi denominato "d 68 F.R-.TU". I rilievi geofisici rappresentano uno strumento fondamentale per esplorare le caratteristiche geologiche e le risorse del nostro sottosuolo.

L'attività proposta ha carattere temporaneo e non prevede in alcun modo la realizzazione di opere permanenti in mare o a terra. Una volta terminata l'attività di indagine geofisica, tutte le apparecchiature utilizzate saranno issate a bordo e sul posto non verrà lasciato alcun tipo di strumentazione.

1.1 Impostazione dell'elaborato di progetto

Il presente elaborato, relativo all'istanza di permesso di ricerca a mare "d 68 F.R-.TU", è stato redatto ai sensi del D.Lgs. del 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" e successive modifiche ed integrazioni.

L'elaborato descrive nel dettaglio l'attività proposta, le caratteristiche fisiche dell'insieme del progetto e le esigenze di utilizzazione dello specchio d'acqua, prendendo in considerazione anche il tipo e la quantità dei residui e delle emissioni previsti.

1.2 Descrizione del Committente

La Transunion Petroleum Italia S.r.l. (TUPI) ha sede legale a Roma ed è una compagnia interamente controllata dalla Cairn Energy PLC (CAIRN). Cairn è una società indipendente, tra i maggiori leader in Europa, che opera nel settore petrolifero in ambito di esplorazione e sviluppo, quotata nella Borsa di Londra. Cairn ha sede a Edimburgo, in Scozia, sostenuto da sedi operative a Londra, Groenlandia, Norvegia, Spagna e Marocco.

La sua grande esperienza svolta in varie sedi, ha permesso di scoprire e sviluppare riserve di petrolio e gas in diverse parti del mondo. La società ha storicamente concentrato le sue attività sulle regioni meridionali dell'Asia, dove ha operato per più di 20 anni. Durante questo periodo ha scoperto, sviluppato e prodotto olio e gas sia *off-shore* che *on-shore* in Bangladesh e in India, effettuando più di 40 importanti scoperte. In particolare, Cairn ha realizzato un'importante scoperta di petrolio in Rajasthan nel nord-ovest dell'India, all'inizio del 2004, in cui oltre 25 scoperte da allora sono state fatte con il potenziale di fornire più del 30% della produzione di greggio in India. Oggi, Cairn continua a detenere una partecipazione del 10% in Cairn India Limited.

Le operazioni commerciali di Cairn sono ora principalmente concentrate in tre aree geografiche:

- Europa nord-occidentale tra il Mare del Nord;
- coesplorazione di frontiera che include il margine settentrionale della Groenlandia;
- Mediterraneo nel Nord Africa.

2 QUADRO PROGETTUALE

2.1 Ubicazione dell'area d'intervento

L'attività proposta, relativa alla fase operativa di ricerca del programma lavori, rientra all'interno del procedimento unico di conferimento del permesso di ricerca "d 68 F.R-.TU", per il quale è stata presentata un'istanza al Ministero dello Sviluppo Economico in data 31 luglio 2009 e successivamente pubblicata sul Bollettino Ufficiale degli Idrocarburi e della Geotermia (BUIG), Anno LIII n. 8, del 31 agosto 2009.

L'area in istanza è situata nel Golfo di Taranto di fronte alle coste della Basilicata e della Calabria (tra Policoro, MT, e Trebisacce, CS). Il limite occidentale dell'area si trova ad oltre cinque miglia nautiche (9,3 km) dalla costa e la profondità dell'acqua va da un minimo di 40 metri, nel margine occidentale dell'area, ad oltre 1300 metri nella zona più orientale (Figura 2.1).

Lo specchio d'acqua interessato dall'area in istanza ha un'estensione complessiva di 623,47 km^2 e ricade all'interno delle zone marine convenzionalmente denominate "D" e "F".

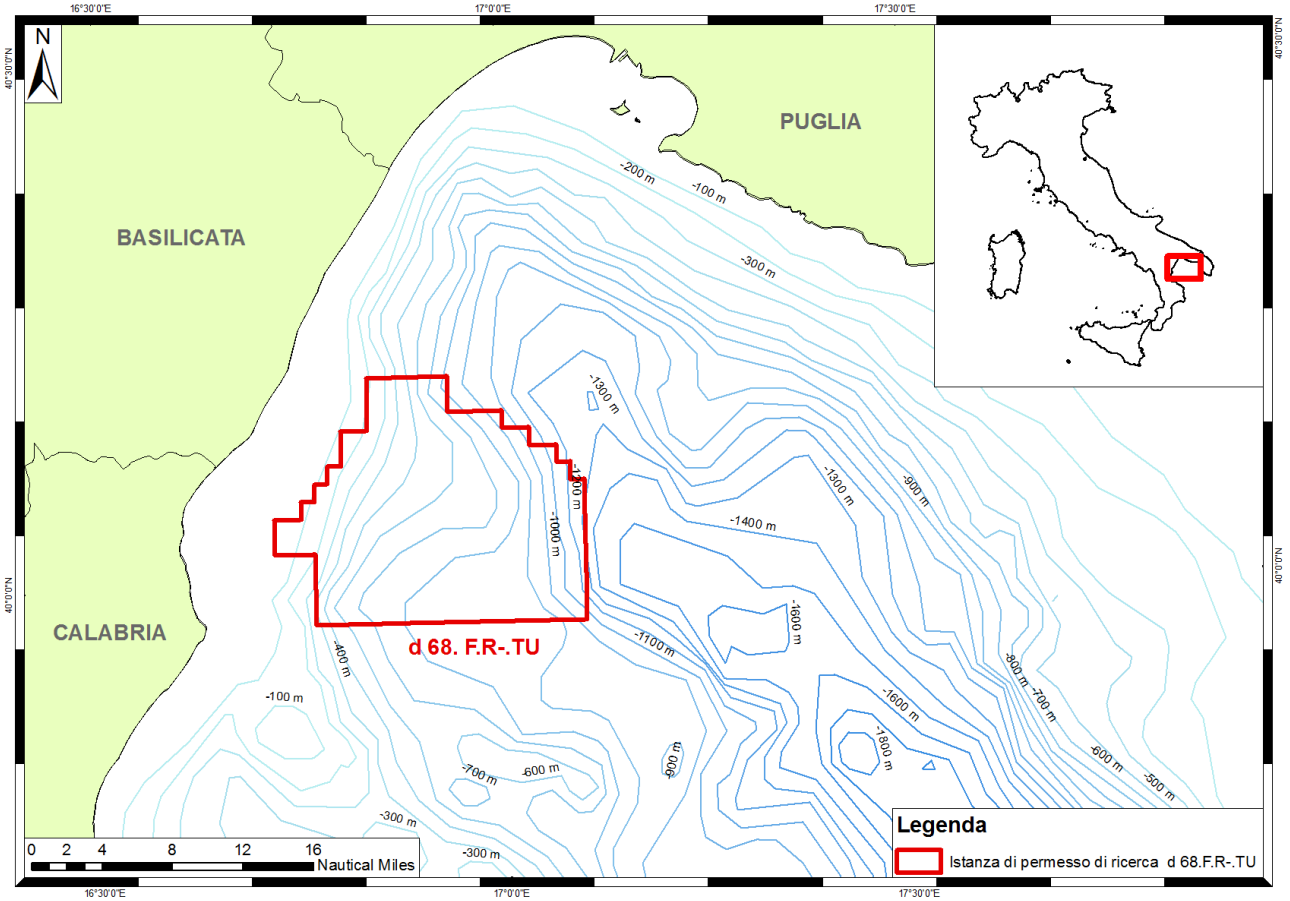

Figura 2.1 – Ubicazione con relativo perimetro dell'area in istanza di permesso di ricerca "d 68 F.R-.TU" con indicazioni della batimetria

Le coordinate geografiche dei vertici del blocco in istanza (Figura 2.2) sono elencate nella seguente Tabella 2.1:

VERTICI	LONGITUDINE	LATITUDINE		VERTICI	LONGITUDINE	LATITUDINE
a	16°50’	40°12’		p	16°46’	39°58’
b	16°56’	40°12’		q	16°46’	40°02’
c	16°56’	40°10’		r	16°43’	40°02’
d	17°00’	40°10’		s	16°43’	40°04’
e	17°00’	40°09’		t	16°45’	40°04’
f	17°02’	40°09’		u	16°45’	40°05’
g	17°02’	40°08’		v	16°46’	40°05’
h	17°04’	40°08’		z	16°46’	40°06’
i	17°04’	40°07’		a’	16°47’	40°06’
l	17°05’	40°07’		b’	16°47’	40°07’
m	17°05’	40°06’		c’	16°48’	40°07’
n	17°06’	40°06’		d’	16°48’	40°09’
o	17°06’	39°58’		e’	16°50’	40°09’

Tabella 2.1 – Coordinate geografiche dei vertici dell’area in istanza “d 68 F.R-.TU”

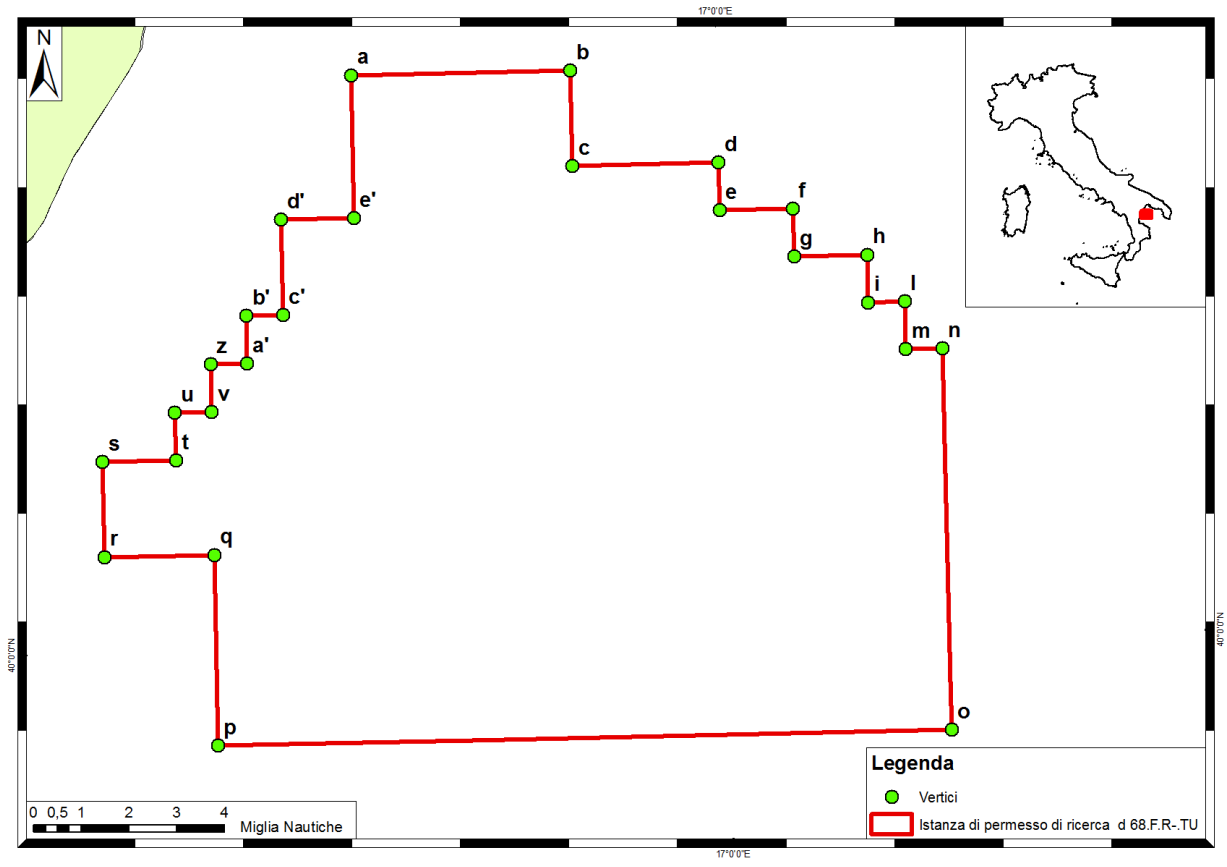

Figura 2.2 – Ubicazione dell’area in istanza a mare denominata “d 68 F.R-.TU” con indicazione dei vertici elencati in tabella

2.2 Finalità dell’intervento

L’indagine geofisica di rilievo sismico 2D in previsione mira a ridefinire le principali caratteristiche, tra cui estensione e natura, delle strutture geologiche sommerse presenti nella zona del Mar Ionio oggetto dell’istanza. Gli scopi scientifici principali di questa indagine sono quelli di estendere e completare la copertura sismica già esistente. Questi obiettivi avranno come risultato una rivalutazione del bacino

sedimentario dell'area del Golfo di Taranto, una mappatura della "roccia madre" degli idrocarburi, nonché la direzione e l'estensione massima di migrazione degli stessi, attraverso l'analisi dei dati che verranno ricavati utilizzando le più moderne tecnologie.

2.3 Programma lavori

Di seguito verrà descritto il programma tecnico dei lavori che Transunion Petroluem Italia S.r.l. si propone di effettuare qualora la titolarità del permesso di ricerca venga assegnata con apposito decreto ministeriale.

L'obiettivo principale dei lavori è quello di valutare al meglio la presenza di accumuli di idrocarburi economicamente sfruttabili.

I lavori che di seguito verranno descritti possono essere suddivisi in due fasi distinte, una fase operativa di ricerca ed un'eventuale fase di perforazione. La prima fase include gli studi di terreno, l'interpretazione dei dati ricavati dalle precedenti campagne esplorative e l'acquisizione di nuove linee sismiche, mentre, nel caso in cui gli esiti della prima fase confermino la presenza di rilevanti accumuli di idrocarburi, la seconda fase prevede la perforazione di un pozzo esplorativo.

Tuttavia, è doveroso precisare che l'eventuale fase di perforazione dovrà essere oggetto di una nuova proposta progettuale da sottoporre a procedura di valutazione di impatto ambientale nonché specifica autorizzazione da parte del Ministero dello Sviluppo Economico.

2.3.1 Fase operativa di ricerca

La fase operativa di ricerca consiste nel reperire più informazioni possibili sia di carattere meramente scientifico (attingendo alla letteratura e agli articoli relativi) che applicativo sull'area di interesse ai fini di migliorare le conoscenze sull'assetto geologico dell'area di studio. La fase di ricerca, a sua volta, si articola su diversi passi essenziali:

- esecuzione di uno studio geologico e geofisico regionale sulla base dei dati accessibili sull'area ed in particolare le correlazioni con possibili manifestazioni di idrocarburi in mare utilizzando varie tecnologie basate sull'interpretazione dei dati satellitari;
- scannerizzazione e vettorizzazione dei dati sismici pubblici;
- acquisto, rielaborazione secondo le tecnologie più all'avanguardia nel settore ed interpretazione di un minimo di 200 chilometri di linee sismiche acquisite in precedenza nell'area e relative alle zone identificate da "*Leads*", al fine di migliorare le conoscenze del sottosuolo in particolare per quanto riguarda la situazione geologico-strutturale dell'area e per poter identificare più precisamente i criteri e le caratteristiche con cui acquisire un eventuale rilievo sismico 2D;
- Acquisizione, elaborazione ed interpretazione di nuovi dati sismici 2D: se, utilizzando le metodologie descritte precedentemente, si reputerà necessario acquisire ulteriori dati geofisici si procederà all'esecuzione di un minimo di 200 chilometri di linee sismiche 2D.

2.3.2 Fase operativa di perforazione

Una volta condotti e portati a termine gli studi in modo da definire un quadro completo delle conoscenze geologiche sull'area di interesse, solo nel caso in cui da essi dovesse emergere la possibilità di individuazione del sistema roccia serbatoio, roccia di copertura e trappole, si renderà necessaria una verifica delle condizioni reali delle potenzialità minerarie del sito. La verifica delle suddette condizioni potrà avvenire solo attraverso la realizzazione di un sondaggio esplorativo opportunamente posizionato

all'interno dell'area in oggetto, la cui profondità e ubicazione finali sono strettamente connesse alle caratteristiche stratigrafico-strutturali emerse dagli studi precedenti (indicativamente di circa 2700 metri). Questa eventuale fase operativa sarà sottoposta ad una nuova procedura di valutazione di impatto ambientale nonché specifica autorizzazione da parte dell'ufficio territoriale competente del Ministero.

2.4 Descrizione dell'attività in progetto

2.4.1 Indagine geofisica: generalità

I metodi di prospezione geofisica permettono di ricostruire le strutture geologiche del sottosuolo senza entrare in diretto contatto con esso. Le diverse tecniche possono essere suddivise in due grandi gruppi:

- metodi di indagine attiva;
- metodi di indagine passiva.

Utilizzando metodi geofisici attivi si immettono artificialmente nel terreno delle onde elastiche o delle correnti elettriche che permettono di misurare le variazioni di alcune grandezze fisiche del terreno (resistività densità, permeabilità, etc.). La risposta che si ottiene è strettamente legata alla variazione del parametro fisico in funzione della stimolazione applicata al terreno. Il buon esito delle indagini è affidato all'esistenza di contrasti nelle proprietà fisiche tra le strutture sepolte ed i materiali che le ospitano.

I metodi geofisici passivi analizzano eventuali anomalie di campi naturali rispetto a parametri fisici del terreno e le confrontano con dati tipo e/o modelli. Lo svantaggio di questi metodi è l'impossibilità di migliorare il segnale, perché questo è prodotto da fenomeni naturali sui quali non si può intervenire, possono essere quindi necessari forti processi di amplificazione.

Nella tabella di seguito (Tabella 2.2) sono elencati i diversi metodi d'indagine geofisica usati al giorno d'oggi e la relativa proprietà fisica indagata.

METODO GEOFISICO	PROPRIETÀ FISICA
Gravimetrico	Densità
Magnetico	Suscettività
Sismico a riflessione	Modulo elastico-densità
Sismico a rifrazione	Modulo elastico-densità
Elettrico	Resistività elettrico
Elettrico	Potenziale spontaneo
Polarizzazione indotta	Resistività-Capacità
Elettromagnetico (EM)	Conducibilità-Induttanza
Elettromagnetico-VLF	Conducibilità-Induttanza
Ground Penetrating Radar (*Georadar*)	Permettività-Conducibilità-Permeabilità
Magneticotellurico	Resistività
Radiometrico	Radioattività

Tabella 2.2 – Tabella che raccoglie i principali metodi di indagine geofisica moderni

Di seguito verrà descritto in dettaglio il metodo di indagine che verrà utilizzato per l'attività di progetto:

- Metodo sismico

Tali metodi sono i più impiegati nel campo della prospezione geofisica finalizzata alla ricerca d'idrocarburi, perché più affidabili e in grado di determinare con grande dettaglio l'andamento strutturale e stratigrafico di un'intera serie sedimentaria. Essi si basano sui fenomeni di riflessione e rifrazione delle onde elastiche generate da una sorgente artificiale di onde, la cui velocità di propagazione dipende dal tipo di roccia. I metodi sismici seguono le leggi della fisica della propagazione delle onde (elastiche assimilabili alla propagazione delle onde ottiche pur entro certi limiti). Una sorgente artificiale di onde sismiche di pressione (onde P) o di taglio (onde S) dà luogo a un'onda che incontrando una superficie di discontinuità, ossia di separazione tra due strati elasticamente diversi, cioè a diversa impedenza acustica, l'onda, secondo un angolo di incidenza, può riflettersi totalmente verso l'alto o può in parte penetrare nel mezzo sottostante, rifrangendosi, e in parte riflettersi verso l'alto. Secondo quale tipo di onde si voglia analizzare si avranno metodi di sismica a riflessione o a rifrazione, che differiscono nella diversa disposizione dei ricevitori in superficie sulla sorgente di emissione dell'energia sismica. Esistono molte tipologie di sorgenti artificiali, legate all'ubicazione dell'indagine, alla situazione ambientale circostante, agli obiettivi della ricerca e alla logistica.

Per le attività di prospezioni geofisica a mare, la scelta della sorgente di energia sismica deve tener conto che le onde elastiche, prima di penetrare nel fondale marino, devono attraversare uno strato d'acqua di spessore variabile. I dispositivi utilizzati danno luogo ad impulsi di pressione fornendo una quantità di energia sufficiente. Tali mezzi applicano generalmente il loro effetto entro una camera di compressione o combustione o di altro tipo e la quantità di energia fornita è limitata dalle dimensioni meccaniche delle apparecchiature utilizzate. Si hanno differenti sorgenti che si possono così riassumere: a vapore, ad acqua, ad esplosivo, elettrica, ad aria compressa. Tutte queste tecniche sono accomunate dall'invio di un impulso di pressione che può essere di natura differente a seconda della sorgente ma che genera in acqua un'onda acustica sferica che si propaga dalla superficie del mare al fondale marino. Tra queste la più impiegata è l'*air-gun*. Tale sorgente di energia è utilizzata in quasi tutti i rilievi sismici marini, perché la quasi totalità della sua energia è compresa nella banda delle frequenze sismiche, per la sua affidabilità e versatilità nella scelta del segnale generato e per l'assoluta sicurezza, non essendo utilizzate miscele esplosive.

Tra i diversi metodi geofisici, l'indagine sismica a riflessione è quella capace di fornire un'immagine del sottosuolo maggiormente dettagliata ed attendibile. Per questo motivo, dalla sua prima applicazione, nei primi decenni del '900, è stata ed è comunemente utilizzata per la ricerca di idrocarburi, rappresentando la chiave di volta della ricerca stessa. Infatti, mentre gli altri metodi geofisici vengono utilizzati come complemento ed integrazione della sismica a riflessione, generalmente per tararla laddove esistano pochi o nessun sondaggio, poiché forniscono ulteriori indicazioni su determinate rocce o corpi rocciosi caratterizzati da marcate proprietà fisiche. Le metodologie complementari utilizzate più frequentemente sono la gravimetria, la magnetometria e, data la crescente attendibilità (legata a programmi di elaborazione sempre più sofisticati e precisi), la magnetotellurica. Questi metodi, tutti appartenenti alla geofisica passiva, registrano rispettivamente le variazioni del campo gravitazionale della Terra e i campi magnetici naturali che si propagano all'interno della stessa.

Le prospezioni geofisiche sono metodologie di indagine essenziali per le ricerche geologiche, eco-compatibili e molto diffuse in tutto il mondo ed in ogni tipo di ambiente naturale. Le perturbazioni ambientali caratteristiche di questi tipi di rilievo sono molto limitate nello spazio e nel tempo, principalmente legate alla sorgente di energizzazione. Le operazioni di ripristino sono semplici. E' possibile stimare il potenziale grado di perturbazioni ambientali prodotte dai vari metodi geofisici.

2.4.2 Sorgenti di propagazione dell'energia

Il risultato prodotto da una qualsivoglia sorgente di energia sismica utilizzata per le prospezioni è un'onda elastica in grado di penetrare il mezzo roccioso estremamente disomogeneo. Le discontinuità presenti tendono a modificare inevitabilmente struttura, percorso e velocità dell'onda originaria. Le principali discontinuità riscontrabili nel sottosuolo possono avere natura diversa:

- Litologica (diversa densità, durezza, etc.);
- geometrica (spessori della successione, giacitura degli strati, etc.);
- strutturale (discontinuità strutturali come faglie, pieghe, fratture, etc.);
- sedimentologico (porosità, permeabilità, compattazione, etc.);
- deposizionale (*facies* differenti, etc.).

La registrazione, l'acquisizione e la digitalizzazione dell'onda di ritorno in superficie forniscono un'immagine indiretta più o meno chiara dell'inaccessibile sottosuolo. Le successive operazioni di elaborazione, esame e interpretazione degli elaborati risultanti, permettono di compiere un'indagine indiretta sulla natura, geometria e profondità degli orizzonti e delle strutture attraversati. Un enorme vantaggio di tali applicazioni è senza dubbio il fatto che queste analisi possono spingersi anche a grande profondità dalla superficie, in funzione della strumentazione e della conformazione del sottosuolo.

Dal punto di vista geometrico, considerando le opportune differenze e limitazioni, i fenomeni sismici sono governati dai medesimi principi fisici di quelli ottici; pertanto, ad essi sono applicabili le leggi dell'ottica geometrica in merito ai fenomeni di riflessione e rifrazione attraverso cui l'onda modifica la sua traiettoria.

Le modalità e le caratteristiche salienti di propagazione, rifrazione e riflessione delle onde elastiche verranno di seguito brevemente richiamate.

2.4.3 Generazione dei segnali sismici

Gli strati rocciosi che costituiscono la crosta terrestre sono caratterizzati da valori diversi in termini di proprietà fisiche (elasticità, rigidità, porosità), in relazione alla struttura interna ed alla composizione mineralogica e dei fluidi al loro interno. Le proprietà che dipendono maggiormente da queste variazioni sono quelle elastiche (compressibilità e rigidità) le quali sono in relazione alla velocità di propagazione delle onde sismiche. Perciò, quando un gruppo di onde elastiche viene prodotto in prossimità della superficie terrestre, esso si propaga nel sottosuolo fino ad incontrare una superficie di discontinuità, quale un piano di stratificazione oppure una frattura degli strati rocciosi. Il gruppo di onde, seguendo le leggi fisiche, subisce una ripartizione dell'energia e parte dell'onda incidente viene riflessa da questa discontinuità. Questo processo continua lungo il suo percorso in profondità, fino ad incontrare discontinuità sempre più profonde e subire lo stesso processo.

Tramite appositi sensori noti con il nome di geofoni utilizzati a terra, idrofoni utilizzati in mare, è possibile registrare i vari gruppi di onde riflesse dalle varie superfici di discontinuità, registrando il tempo necessario all'onda elastica indotta artificialmente per tornare alla superficie del suolo. L'elaborazione di questi tempi di percorso consente di ricostruire un'immagine delle principali strutture del sottosuolo fino a profondità di alcuni chilometri in funzione del tempo di registrazione.

A differenza dalla sismica a rifrazione, nella sismica a riflessione non viene misurato solo il tempo di primo arrivo dell'onda elastica ai singoli idrofoni, ma viene effettuata un'accurata analisi dei treni d'onda ricevuti, attraverso la quale si giunge a riconoscere i segnali provenienti dalle superfici di separazione di terreni caratterizzati da differenti velocità sismiche. In questo modo sarà possibile risalire non solo alla profondità delle diverse superfici incontrate, ma anche di stabilirne con esattezza la geometria, l'estensione e le

reciproche relazioni tra i corpi che esse suddividono. Per raggiungere questo scopo è ovviamente necessario uno stendimento dotato di numerose energizzazioni, numerosi idrofoni, e l'utilizzo di apparecchiature di registrazione in grado di registrare con un elevato grado di accuratezza i diversi segnali in arrivo. I segnali registrati, inoltre, richiedono una fase di *processing*, attraverso la quale i singoli arrivi vengono elaborati, amplificati, sommati, filtrati, migrati (procedure condotte in maniera computerizzata) in modo da eliminare ogni eventuale disturbo sia esso organizzato (come gli arrivi delle onde dirette in superficie) che aleatorio quale, ad esempio, i disturbi ambientali: passaggi di navi o di mezzi pesanti, rumori di motori, vicinanza a centri abitati, etc.

Il risultato finale sarà un elaborato grafico denominato "sezione sismica" (Figura 2.3), nella quale viene evidenziato l'andamento delle superfici di riflessione provenienti dal sottosuolo (che costituiranno un insieme di riflettori sismici) che segnaleranno la presenza delle varie discontinuità incontrate (strati, contatti litologici, contatti tettonici).

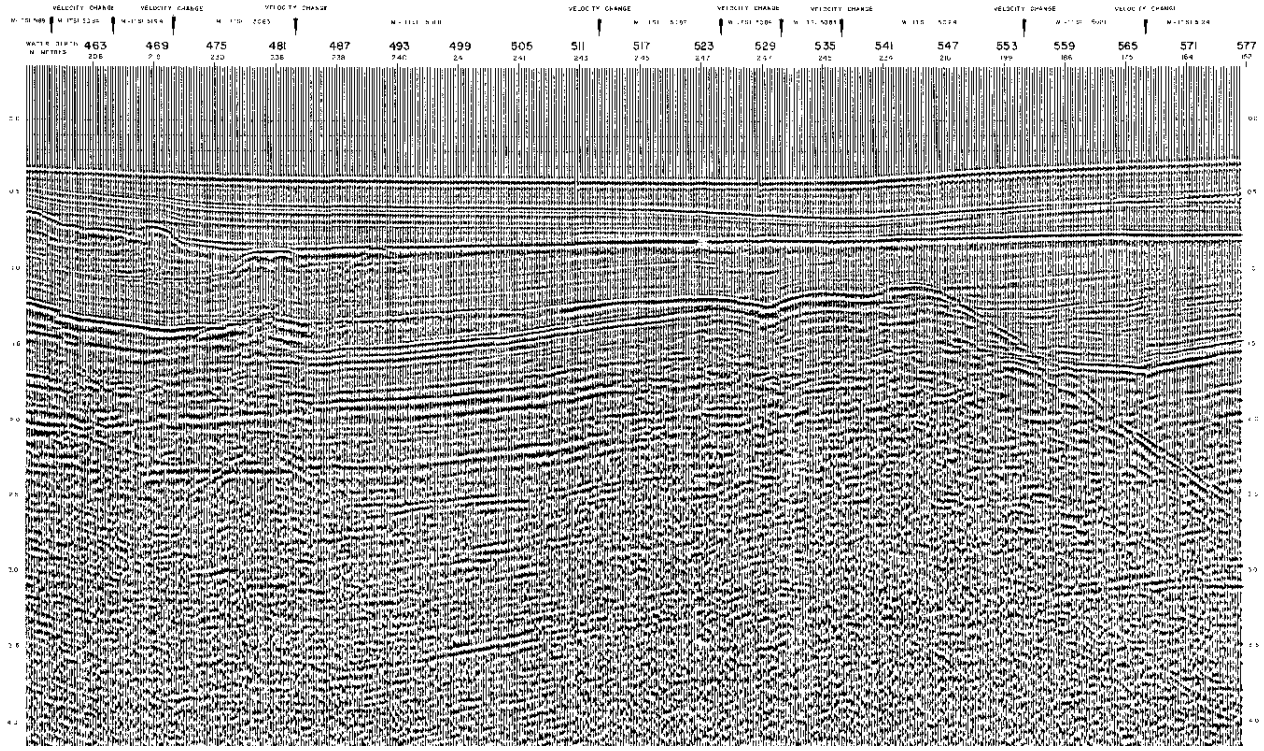

Figura 2.3 – Esempio di sezione sismica non interpretata (Progetto ViDEPI – www.nmig.sviluppoeconomico.gov.it)

La scala verticale è data dai tempi di percorso delle onde (dalla superficie al riflettore e dal riflettore al geofono) e non dalla profondità in metri (Figura 2.3). Di conseguenza, per risalire alla profondità o agli spessori dei diversi corpi litologici individuati, occorre conoscere le relative velocità di propagazione delle onde sismiche. Sebbene esistano dei range di valori indicativi per ogni litologia ogni interpretazione geologica basata sui profili sismici deve essere convalidata dai dati di pozzo.

La registrazione dei segnali riflessi verrà effettuata da un geofono, o idrofono, (sismica monocanale) o, nel caso della sismica multicanale, da diversi idrofoni che vengono spostati lungo la traccia dopo ogni liberazione di energia; questa tecnica fornisce una copertura multipla dell'area indagata, oltre che una profondità di indagine solitamente superiore a quella ottenibile con la sismica monocanale. Il vantaggio offerto dalle coperture multiple è quello di amplificare notevolmente il rapporto segnale/rumore poiché la registrazione dei segnali provenienti dallo stesso riflettore viene effettuata su diversi geofoni (Figura 2.4, Figura 2.5).

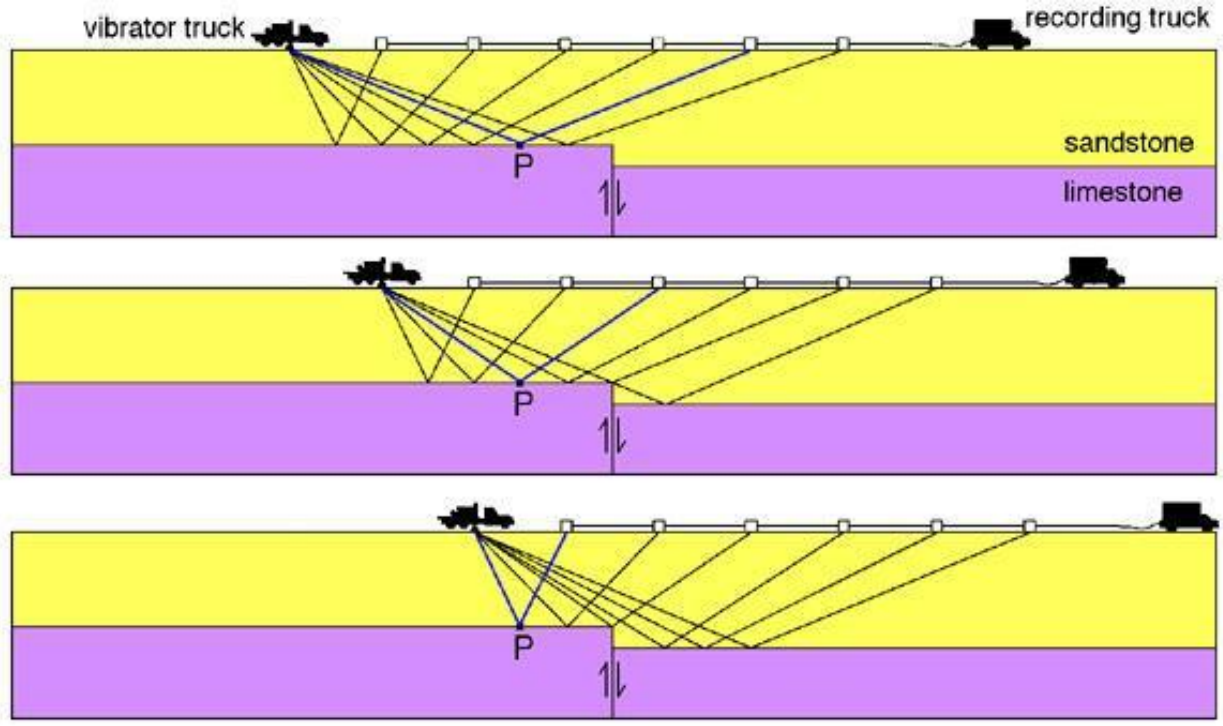

Figura 2.4 – Esempio di sistema di registrazione a copertura multipla. L'onda sismica riflessa dallo stesso punto P viene registrata da diversi geofoni per ogni spostamento dello stendimento (fonte: www.oilandgaslawyerblog.com)

Le onde provenienti dallo stesso punto in profondità (*Common Depth Point* - CDP) ma registrate da più geofoni disposti simmetricamente rispetto alla sorgente e al punto, hanno, infatti, lo stesso corredo di informazioni pur avendo seguito percorsi caratterizzati da diversi angoli di incidenza. In questo modo i segnali sismici che tornano in superficie, verranno sommati tra loro (*stacking*) mentre i segnali provenienti da elementi di disturbo, fuori fase e immediatamente riconoscibili, verranno eliminati. I segnali sismici reali, opportunamente corretti ed elaborati in fase di processing, saranno così in grado di riprodurre con un elevato grado di dettaglio le geometrie dell'orizzonte che ha generato la riflessione.

La lista dei parametri di acquisizione da definire comprende:

- lunghezza della registrazione = tempo di ascolto del sismografo, sufficiente ad esaurire la ricezione di ogni informazione di interesse;
- passo di campionamento = tempo di acquisizione di un singolo valore la cui sequenza costituisce la forma d'onda; non deve essere superiore alla metà del periodo della più alta frequenza contenuta nel segnale;
- distanza fra sorgente e geofono più lontano = determina la profondità esplorata per la quale è ancora possibile una buona analisi delle velocità;
- distanza fra sorgente e geofono più vicino = non deve essere troppo grande in modo da consentire una buona valutazione degli spessori e delle velocità del primo strato aerato;
- distanza tra i geofoni = dipende dai parametri precedenti e dal numero di canali disponibili sul sismografo. Quanto più breve è, tanto maggiore è la risoluzione superficiale. La simultaneità di una buona risoluzione superficiale e di una buona penetrazione in profondità, è proporzionale al numero di canali disponibile;

- filtri analogici = la miglior scelta dei filtri consente l'eliminazione dei rumori e il miglior sfruttamento della dinamica del sismografo. In particolare questo vale per la scelta del filtro passa alto.

Nella fase successiva rientrano tutte le procedure atte a migliorare il rapporto segnale/rumore e a perfezionare l'immagine sismica proveniente dalla porzione di sottosuolo indagato. Senza entrare nello specifico di tutte le operazioni (*edit*, *stacking*, filtraggi, migrazioni, deconvoluzioni, correzioni statiche e dinamiche, etc.) vengono comunemente raggruppate sotto il nome di processing. Non sempre il profilo sismico finale risulta completamente "ripulito" dalla presenza di segnali anomali, provenienti da corpi o superfici riflettenti che non rispecchiano le strutture realmente presenti, oppure creati da fenomeni di interferenza con onde provenienti da diverse direzioni (onde dirette, riflessioni sulla superficie del mare, etc…), oltre che da un generale rumore di fondo, la cui presenza talvolta dà luogo ad immagini non perfettamente nitide. Esistono, inoltre, dei veri e propri generatori di segnali "falsi", frequentemente presenti in numerosi profili sismici anche di buona qualità e, fortunatamente, facilmente identificabili, la cui presenza se riconosciuta, non inficia la validità dell'interpretazione. Tra questi segnali, i principali sono le riflessioni multiple e le iperboli di diffrazione.

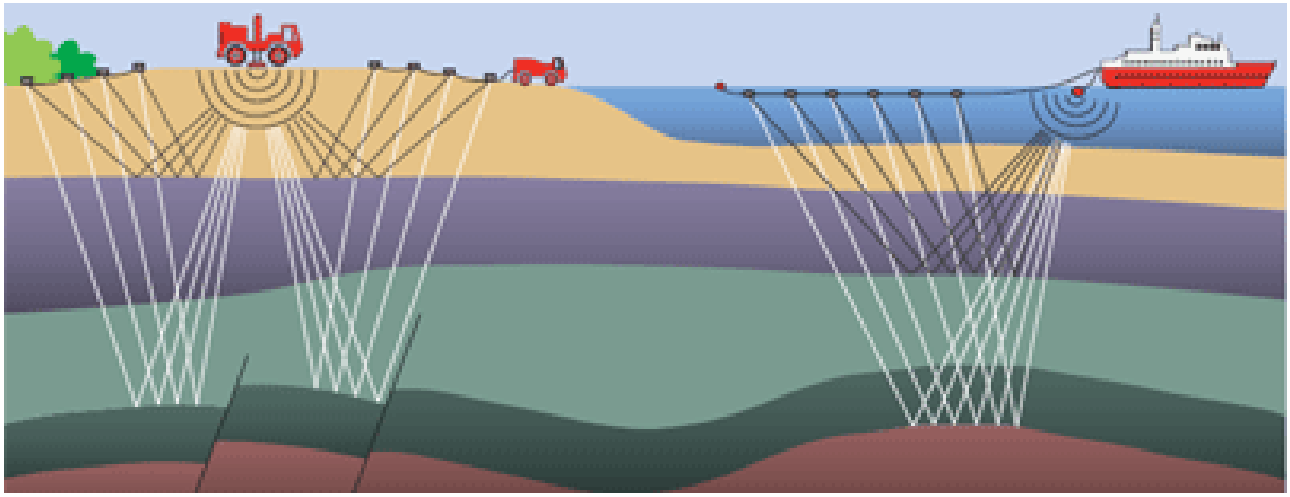

Figura 2.5 – Esempio di acquisizione sismica *on-shore* e *off-shore* (fonte: www.aapg.org)

2.5 DESCRIZIONE DELLE TECNOLOGIE ADOTTATE NELLA RICERCA SISMICA *OFF-SHORE*

Di seguito verranno mostrate dettagliatamente le principali tecniche di indagine in mare che verranno utilizzate per l'esecuzione della campagna di prospezione nell'area oggetto di interesse. Sebbene esistano diversi tipi di acquisizione ed esecuzione dei rilievi sismici (2D o 3D), in questa sede sarà trattata la sola progettazione della tecnica 2D. È facile intuire come le tecniche e le tecnologie impiegate nella ricerca sismica in mare differiscano dai rilievi eseguiti in terra nonostante i principi fisici rimangano i medesimi. Queste differenze si ripercuoteranno anche e non in minor misura sull'organizzazione logistica. L'immagine che segue (Figura 2.6) mostra un tipico esempio di stendimento per l'acquisizione sismica *off-shore* con una panoramica sui mezzi e attrezzature utilizzate.

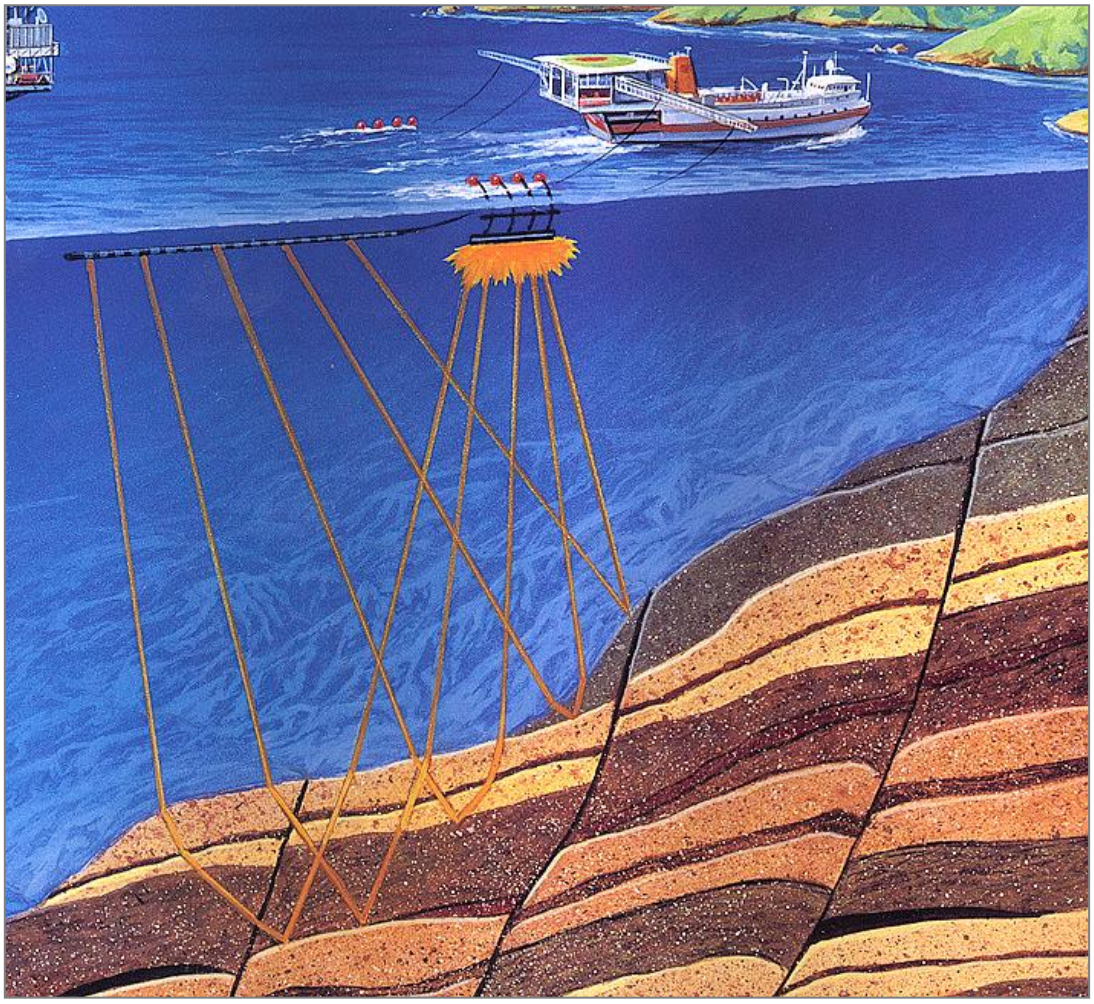

Figura 2.6 – Esempio di stendimento e linea di acquisizione sismica in mare (fonte: www.aapg.org)

2.5.1 Sorgente di energizzazione: l'*air-gun*

L'*air-gun* è la sorgente d'energia oggi più utilizzata per rilievi sismici in mare. E' una sorgente pneumatica di onde acustiche che genera onde a bassa frequenza grazie alla creazione di bolle d'aria compressa nell'acqua. È un dispositivo costituito da due camere, una superiore che viene caricata di aria compressa e un inferiore di scarico, sigillate tra loro da un doppio pistone ad albero. L'aria compressa che viene immessa nell'*air-gun*, deriva dai compressori presenti dalla nave sismica, passa dalla camera superiore a quella inferiore attraverso la sezione cava del pistone. Quando l'*air-gun* risulta carico e si raggiunge la pressione desiderata, scelta in base all'obiettivo del sondaggio ma anche per minimizzare il più possibile gli eventuali impatti sull'ambiente marino, viene attivato elettronicamente un solenoide che genera un campo magnetico sufficiente a far sollevare il pistone. Con la risalita del pistone si aprono le valvole d'uscita poste ai lati dell'*air-gun* e l'aria compressa viene espulsa all'esterno (Figura 2.7).

Il rapido rilascio di aria compressa (in genere a pressioni intorno ai 2000 psi) dalla camera dell'*air-gun* produce una bolla d'aria che si propaga nell'acqua. L'espansione e l'oscillazione di questa bolla d'aria genera un impulso con un picco, di grande ampiezza che è utile per l'indagine sismica. La principale caratteristica del segnale di pressione di un *air-gun* è il picco iniziale seguito dagli impulsi provocati dalle bolle. L'ampiezza del picco iniziale dipende principalmente dalla pressione prodotta e dal volume dell'*air-gun*, mentre il periodo e l'ampiezza dell'impulso della bolla dipendono dal volume e dalla profondità dell'energizzazione.

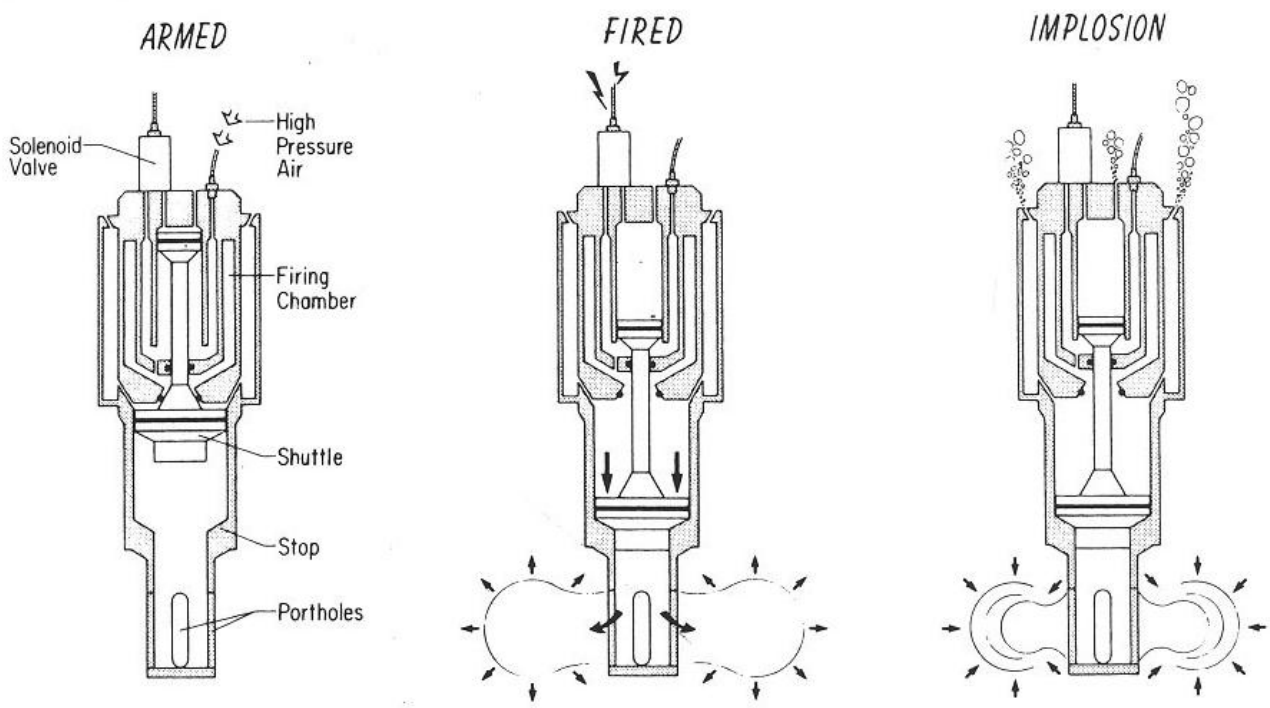

Figura 2.7 – Schema di funzionamento di un "*air-gun*", diviso nelle fasi di Carica "*Armed*", Scoppio "*Fired*" e Rilascio "*Implosion*" (fonte: www.usgs.gov)

Gli *air-gun* sono progettati per generare la maggior parte della loro energia sonora in frequenze minori di 180Hz. Un *air-gun* singolo genera una frequenza di 5-200 Hz mentre un gruppo di *air-gun* (*array*) arriva a generare una frequenza di 5-150 Hz. In prossimità di un singolo *air-gun* si possono misurare picchi di pressione dell'ordine di 230 dB mentre un *array* costruito da 30 *air-gun* può presentare un livello di picco di sorgente di 255 dB.

Le onde che vengono generate hanno un rapido decadimento spaziale, l'energia infatti tende a diminuire con il quadrato della distanza. L'energia generata da una batteria di *air-gun* è concentrata verso il basso, esattamente lungo la verticale della sorgente di energia, pertanto l'onda acustica che si misura esternamente all'asse dell'*array* risulta sostanzialmente inferiore a quella rilevata lungo la verticale.

Nella Figura 2.8 viene mostrato ad esempio lo spettro dell'ampiezza normalizzata per una frequenza di 90 Hz (picco dello spettro di amplitudine tipico di un *array*) dove si evidenzia l'attenuazione dell'energia simica per diversi angoli. La maggior parte dell'energia sonora risulta racchiusa in un piccolo spazio compreso approssimativamente tra i 0° e i 30° dove l'attenuazione è di circa 20dB mentre per angoli attorno ai 90° si osserva che l'attenuazione dell'energia simica è di circa 60dB.

Il livello della sorgente sonora dell'*array* varia considerevolmente sia nella direzione verticale sia orizzontale a causa della complessa configurazione degli *air-gun* che compongono l'*array*. Questa variabilità deve essere tenuta presente per predire in modo corretto il campo sonoro di un *array* di *air-gun*. Se la traccia dei singoli *air-gun* è nota, è possibile calcolare accuratamente il livello della sorgente di un *array* in qualsiasi direzione sommando il contributo dei singoli elementi con gli appropriati ritardi temporali, a seconda della loro posizione relativa. Ogni *array* ha il suo specifico spettro di frequenze perché esso dipende dalla particolare configurazione, dalle proprietà dell'acqua e del fondale marino. Questo spettro di frequenze varia relativamente poco dalle basse alle alte frequenze.

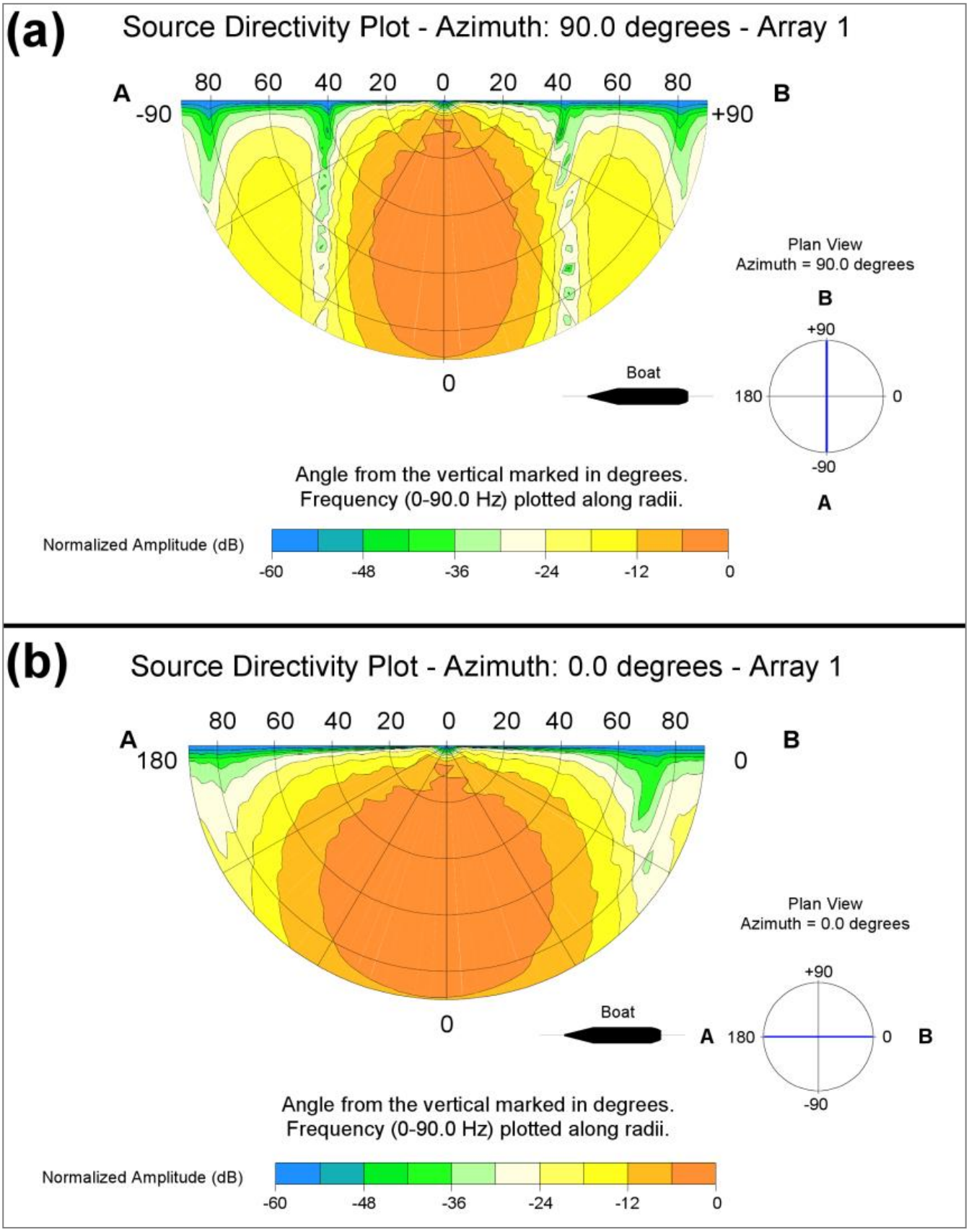

Figura 2.8 – Ampiezza normalizzata in dB per un array di *air-gun* configurato nella direzione parallela al moto della nave sismica (a) e perpendicolare al moto della nave (b), (fonte: www.nmfs.noaa.gov)

2.5.2 Parametri operativi di progetto per l'acquisizione sismica con *air-gun*

Per quanto concerne i parametri operativi di progetto relativi alla sorgente *air-gun* che verranno utilizzati durante lo svolgimento delle attività in oggetto, vengono di seguito elencati le principali caratteristiche (Tabella 2.3).

PARAMETRI OPERATIVI	SPECIFICHE TECNICHE
Tipo di sorgente	*Sercel Sodera G Gun*
Source Controller	*Seamap Gunlink 2000*
Numero di sorgenti	2
Volume di ogni sorgente	4330 cu in
Profondità sorgente (± tolleranza)	7 m (± 1m)
Lunghezza dalla fonte	14 m
Numero di *Sub-Array* per sorgente	3
Separazione *Sub-Array*	10 m
Utilizzo *Flip/Flop**	Si
Intervallo di energizzazione per colpo	18.75 m
Definizione Misfire	± 1.0 mS
Pressione limite sorgente (± tolleranza)	2000 psi (± 10%)

Tabella 2.3 – Parametri operativi degli *air-gun*, previsti per il progetto di acquisizione sismica

Il progetto prevede la tecnologia del *Flip/Flop** la quale consente di selezionare alternativamente camere di pressurizzazione di grandezza diversa (per esempio maggiori di 1,15 litri fino a minori di 70 pollici^3); questa tecnologia consente di fornire energia al sistema alle diverse frequenze in base alle necessità geologiche. L'impiego del *Flip/Flop* si traduce in termini di risparmio energetico e nel minor impatto potenziale sull'ambiente in cui esso viene utilizzato.

Configurazione degli *Array*

La configurazione adottata per lo studio è denominato **4330**.

Questa configurazione è costituita da 3 *sub-array* di 14 metri di lunghezza posizionati a 10 metri di separazione tra loro, secondo uno schema composto da sorgenti individuali di varie dimensioni, che si combinano tra loro generando una sorgente sonora per il rilievo sismico. La sorgente di energia è posta a 7 m di profondità e genererà una pressione di circa 2000 psi. Gli strumenti utilizzati sono del tipo Sercel Sodera G Gun. La mostra la configurazione degli *array* secondo il modello 4330. La distanza tra sub-*array* è di 10 m. In verde sono rappresentati i cluster, elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica, in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio nel caso di mal funzionamento (Figura 2.9). La configurazione, così proposta, ha la finalità di concentrare verso il basso le onde acustiche, le quali penetrano nel sottofondo marino. Le onde si propagano nel terreno e vengono riflesse dalle diverse superfici di discontinuità che incontrano nel sottosuolo, gli idrofoni captano le onde riflesse e registrano i diversi tempi che le onde impiegano a tornare in superficie. L'elaborazione dei dati

raccolti avviene direttamente a bordo della nave e consente di ricostruire un'immagine delle principali strutture del sottosuolo.

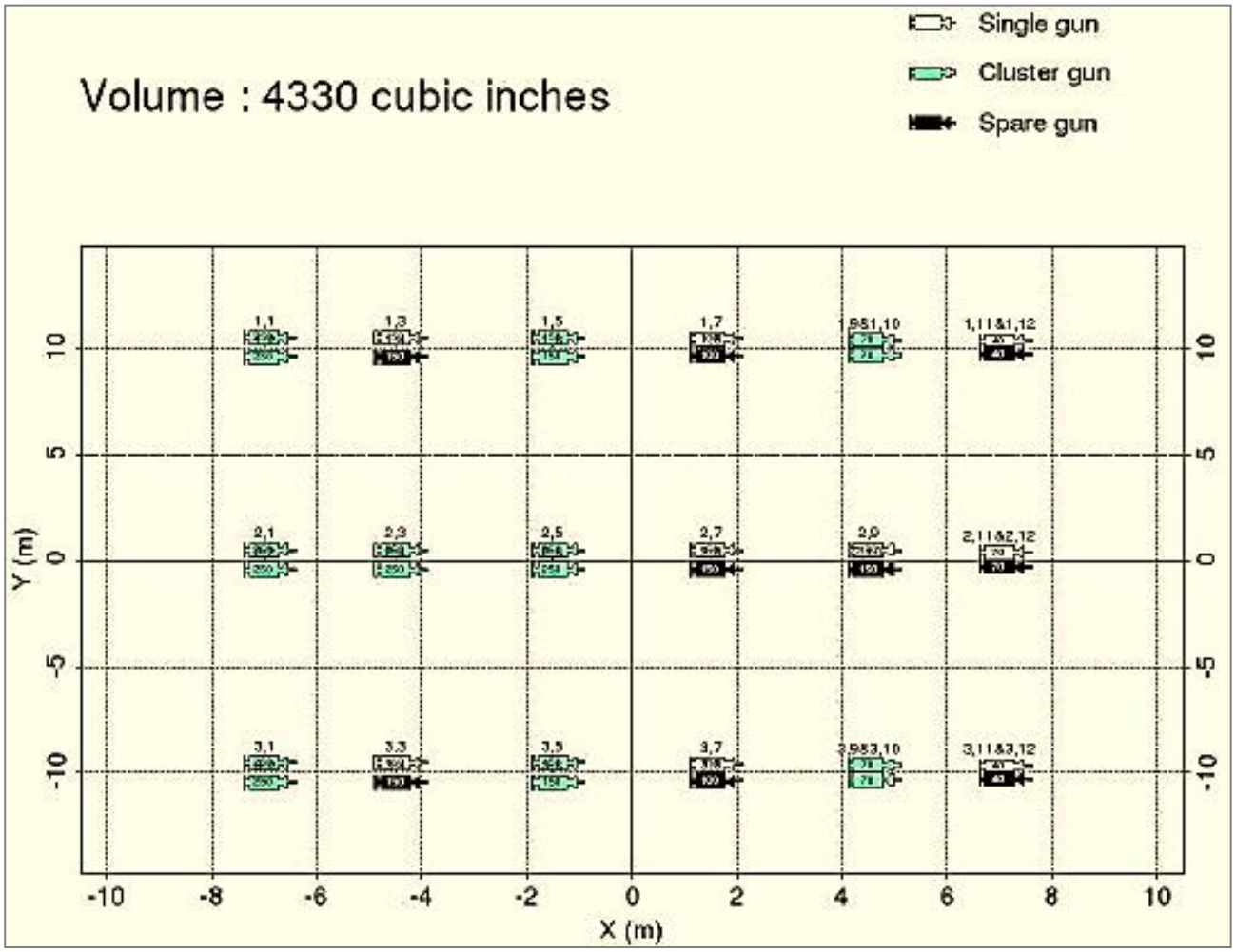

Figura 2.9 – Disposizione spaziale dei singoli elementi che compongono l'array secondo il modello 4330. In verde sono rappresentati i *cluster* (elementi sorgente che sono sufficientemente vicini tra loro da agire come sorgente unica) in bianco le sorgenti singole ed in nero le sorgenti di appoggio nel caso di mal funzionamento

Modellizzazione della sorgente nel "*Far Field*"

A causa del movimento fisico dell'aria compressa e del fatto che la sorgente di energia si trova immersa in acqua di 7-8 m e si muove ad una velocità di circa 4-5 nodi risulta abbastanza difficoltoso misurare in modo preciso l'effettivo livello della pressione sonora. Di conseguenza si sono dovute fare delle assunzioni per poter modellare la risposta del campo lontano a seguito dell'energia emessa. Le valutazioni sono state effettuate attraverso un modello che ha permesso di ottenere dei valori applicabili al lavoro proposto (Figura 2.10).

Per questo tipo di acquisizione, il calcolo dell'impulso sorgente viene ricavato dalla registrazione nel campo lontano della sorgente di energia. Inizialmente la sorgente di energia viene considerata sulla verticale del punto di ricezione, assumendo che sorgente e ricevitore si trovino perfettamente allineati uno sopra l'altro. In questo modo si assume che tutti gli impulsi arrivino con lo stesso tempo di ritorno a questo punto ipotetico. I dati così calcolati vengono successivamente ricorretti attraverso dei modelli matematici prendendo in considerazione anche il fattore di obliquità e la divergenza sferica.

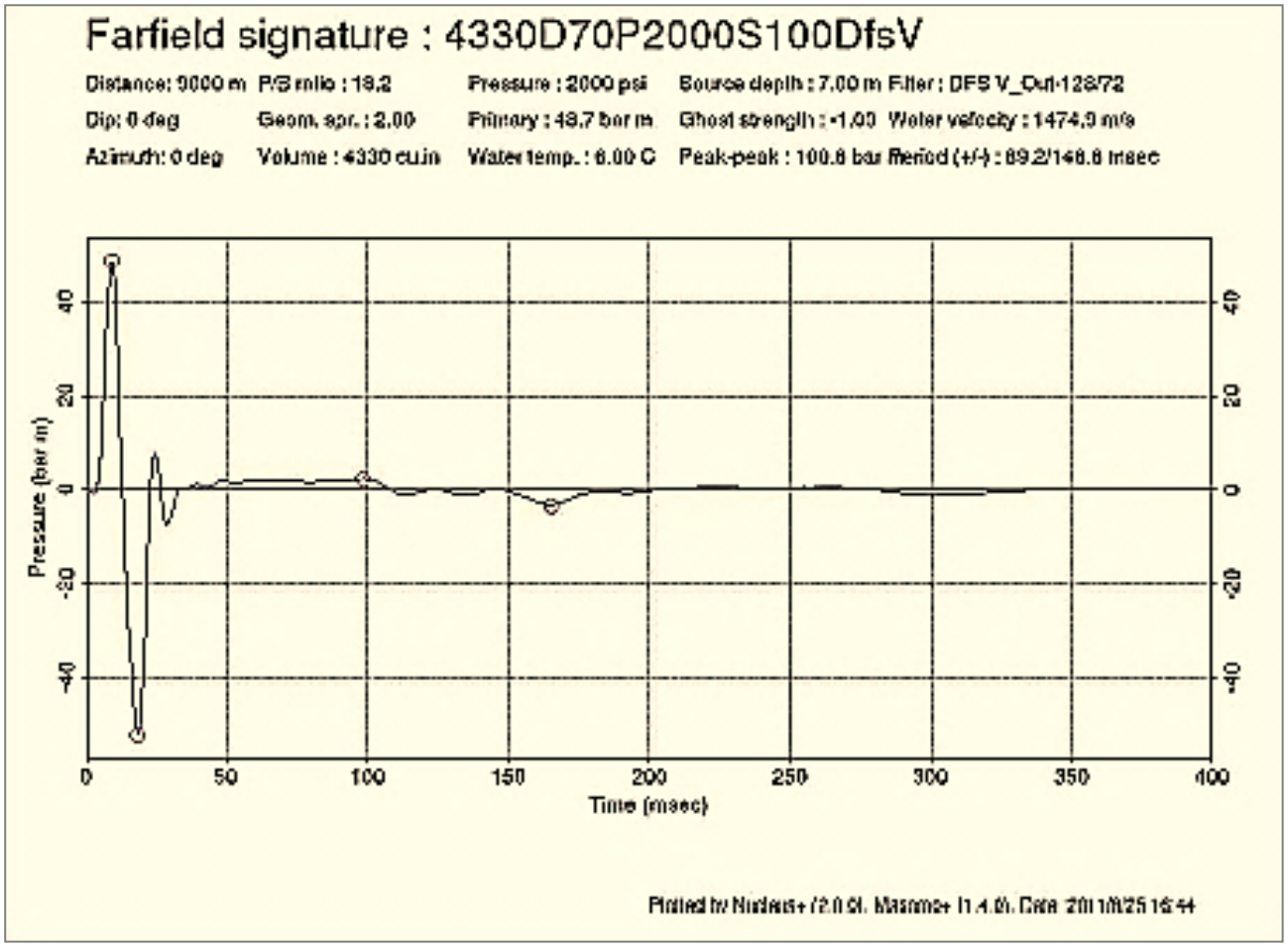

Figura 2.10 – Modello dello spettro della pressione sonora per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330

Come noto, il picco massimo di energia da ogni elemento sorgente non si allinea nella sua posizione vicino alla sorgente di energia (*near field*) poiché essa non è più rappresentata da un punto ma è distribuita lungo il gruppo di sorgenti (*array*) e nello spazio/tempo. Pertanto il livello di pressione emesso vicino alla sorgente è inferiore rispetto a quello calcolato nel campo lontano.

Il valore verticale in uscita del campo lontano (*far field signature*) è stato modellato utilizzando frequenze fino a 100 Hz sebbene misure di calibrazioni non siano disponibili per valori superiori ai 140 Hz. La Figura 2.11 mostra lo spettro di ampiezza per una sorgente d'energia modellata sul calcolo del campo lontano.

Si può osservare come il livello massimo di pressione sonora (SPL) in uscita dalla sorgente sia di poco superiore ai 210 dB rif. 1uP/Hz @ 1 m (notazione standard del settore sismico per una fonte in uscita di campo lontano). Questa potenza massima si verifica a frequenze inferiori a 80 Hz. Va inoltre osservato che gli effetti di assorbimento sono maggiori per le alte frequenze rispetto alle frequenze al di sotto degli 80 Hz, il che suggerisce che le alte frequenze risultano attenuate più rapidamente rispetto alle basse frequenze. Si deve inoltre osservare che l'emissione di un gruppo di sorgente di energia è di tipo direzionale e che deve tenere conto che il valore massimo di emissione è diretto verso il basso.

Come espresso in precedenza, il livello della sorgente sonora dell'*array* varia considerevolmente sia nella direzione verticale sia orizzontale a causa della complessa configurazione degli *air-gun* che compongono l'*array*. Questa variabilità deve essere tenuta presente per predire in modo corretto il campo sonoro di un *array* di *air-gun*.

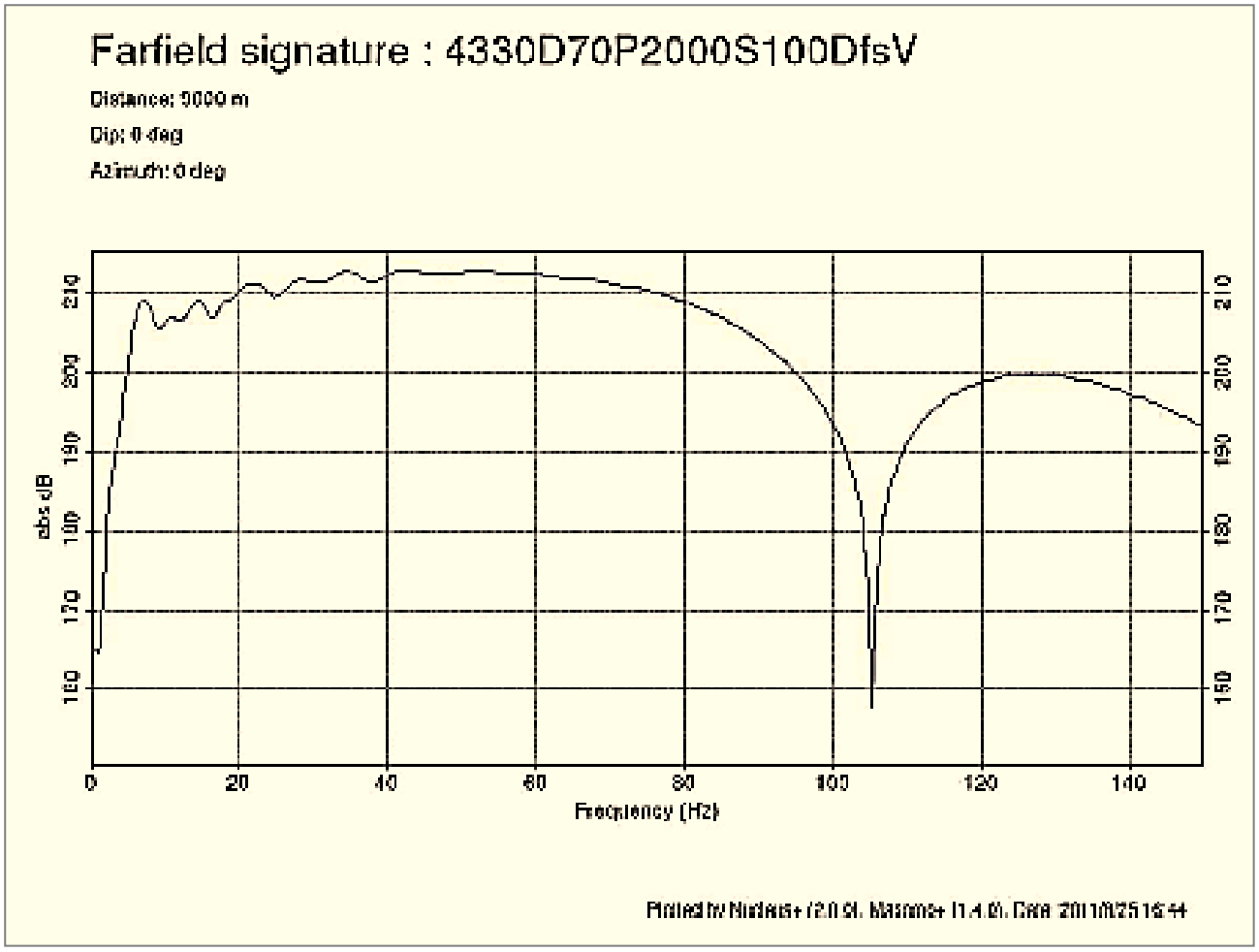

Figura 2.11 – Modello dello spettro di ampiezza per un'emissione di energia in un campo lontano, secondo la configurazione 4330

2.5.3 Tipologia delle attrezzature di registrazione

Nei rilevamenti sismici marini la registrazione delle onde sismiche è affidata a idrofoni disposti in diverse configurazioni, a seconda dei casi e, da un cavo sismico detto anche *streamer*.

L'idrofono è un trasduttore elettroacustico costituito da un nucleo di materiale ceramico piezoelettrico che genera una tensione all'arrivo di un impulso di pressione, prodotto nell'acqua dall'onda sismica. Poiché sott'acqua il suono si trasmette ad una velocità di circa quattro volte e mezza superiore a quella di trasmissione nell'aria e subisce una minore perdita per assorbimento. Grazie allo sviluppo delle moderne tecniche di trasformazione dell'onda sonora in segnale elettronico, consente di captare suoni emessi a grandi distanze (Figura 2.12).

In genere i sensori hanno forma cilindrica di dimensioni pari a circa 2 cm di lunghezza e 4 millimetri di diametro. La risposta è lineare, non produce distorsioni armoniche apprezzabili ed ha una frequenza propria molto alta (30.000 Hz). Ogni idrofono è formato da due sensori montati in senso opposto, allo scopo di sommare gli effetti degli impulsi di pressione prodotti nell'acqua dalla sorgente energizzante e nel frattempo di annullare le accelerazioni di traslazione dovute al traino del cavo sismico.

Un cavo sismico può essere lungo fino a 10 km, al traino di navi opportunamente attrezzate, ed è mantenuto stabilmente a profondità da 5 fino a 10 m, a seconda degli obiettivi del rilevamento.

Figura 2.12 – Serie di idrofoni usati per la prospezione sismica *off-shore* (fonte: www.oilonline.com)

Lo *streamer,* o cavo sismico, è un cavo galleggiante che ha il compito di permettere il traino degli idrofoni opportunamente distanziati e di trasmettere i segnali rilevati alle apparecchiature di registrazione posizionate a bordo della nave sismica (Figura 2.13). I cavi sismici possono rilevare valori molto bassi di energia riflessa che viaggia dalla sorgente sismica attraverso lo strato d'acqua fino al fondo del mare e negli strati sottostanti, tornando quindi in superficie grazie ai sensori di pressione (idrofoni) ad esso collegati. Gli idrofoni convertendo i segnali di pressione riflessi in segnali elettrici, consentono che vengano digitalizzati e trasmessi attraverso il cavo sismico fino al sistema di registrazione che si trova sulla nave sismica dove i dati acquisiti vengono registrati su un nastro magnetico. A causa del vento, delle correnti marine e dell'azione della marea il cavo sismico si trova generalmente su un tracciato non rettilineo rispetto alla direzione di navigazione.

Proprio a causa delle correnti e per il fatto che lavori in tensione, lo *streamer* deve essere composto da materiali molto resistenti e allo stesso tempo caratterizzati da un'elevata sensibilità e robustezza.

Allo *streamer* sono associati gli idrofoni, distanziati tra loro di un metro ed elettricamente accoppiati, apparecchi elettronici di digitalizzazione per la trasmissione del segnale sismico. È costituito da materiali antistress come kevlar e acciaio che badano a mantenere il giusto sforzo sul cavo permettendo allo stesso di essere trainato anche in condizioni di maltempo. Ogni cavo può essere sottoposto a parecchie tonnellate di peso durante il traino in mare. Lo *streamer* incorpora un sistema di trasmissione elettrico, per l'alimentazione delle apparecchiature elettroniche del cavo, le periferiche e i dati della telemetria. Il cavo è poi assemblato in materiali che permettono il galleggiamento.

Il cavo sismico ha un diametro di circa 6-8 cm ed è diviso in sezioni, infatti ogni 50-100 metri di lunghezza è possibile sostituire gli elementi eventualmente danneggiati. Ogni sezione termina con un connettore di unità che ingloba gli elementi elettronici ed è riempita con un fluido isolante che possiede un determinato peso specifico (inferiore a quello dell'acqua) per permettere il naturale galleggiamento del cavo in mare. La lunghezza del cavo utilizzato dipende dalla profondità e dall'obiettivo d'indagine geofisica. I cavi più utilizzati sono composti da 48 sezioni attive dette anche canali della lunghezza singola di 70 metri, che contengono ognuna da 20 a 32 idrofoni. La profondità di traino del cavo è un compromesso tra il requisito di operare lontano dalla superficie marina e dagli effetti delle condizioni meteorologiche e di quelli del rumore delle onde del mare che limitano l'uso dei dati registrati. Più la profondità di traino è elevata, più il cavo immune dai rumori prodotti dagli eventi atmosferici e marini, ma sfortunatamente la larghezza della

banda dei dati acquisiti si fa più ristretta. Quindi in ultima analisi è importante in fase di progettazione della prospezione trovare un giusto compromesso tra queste due esigenze. In generale le profondità di traino più comuni si trovano tra 4 e 5 metri per indagini sismiche poco profonde, tra 8 e 10 metri per indagini sismiche profonde. Durante l'acquisizione sismica, il cavo deve essere mantenuto alla stessa profondità e deve essere allineato secondo la direzione di rilevamento stabilita, per favorire la stabilità di posizione del cavo viene utilizzato un galleggiante (boa) e un dispositivo di abbassamento che permette di mantenere la posizione iniziale dello *streamer* ad una determinata profondità di operazione.

Figura 2.13 – *Streamer* o cavo sismico per l'acquisizione (fonte: www.geo.uib.no)

Una boa di coda viene fissata all'estremità di coda dello *streamer* e al di sopra è fissato un riflettore radar per il controllo dell'allineamento del cavo stesso rispetto alla direzione di movimento della nave (Figura 2.14).

Figura 2.14 – Boa di coda alla quale viene fissata l'altra estremità dello *streamer* (fonte: www.mitchamindustries.com)

2.5.4 Navi per la prospezione sismica a mare

Una campagna di acquisizione sismica in mare prevede la disposizione di apposite apparecchiature e di mezzi idonei atti allo scopo da raggiungere. Oltre alle attrezzature illustrate nei particolari nei paragrafi precedenti, un progetto di ricerca in mare necessita di mezzi natanti atti ad ospitare sia la complessa apparecchiatura descritta, sia la squadra di professionisti che ne governerà l'uso.

In una tipica campagna di acquisizione sismica in mare, il numero complessivo di imbarcazioni necessarie sono variabili da 2 a 3, ognuna avente un compito ben prestabilito:

1. Nave sismica di acquisizione (*seismic survey vessel*);
2. Barca da supporto (*support vessel*);
3. Barca da inseguimento (*chase vessel*).

Se la nave di acquisizione è fondamentale per lo svolgimento delle attività e acquisizione dei dati sismici, le altre imbarcazioni sono dedite al controllo e a supporto delle operazioni logistiche. Talvolta, l'utilizzo della barca da inseguimento non si rende necessario poiché le condizioni logistiche sono tali da non richiederne la presenza sul campo di acquisizione.

Nave per la prospezione sismica (*Eight Streamer seismic survey vessel*)

Le attuali navi per le prospezioni sismiche sono dotate delle più moderne e sofisticate tecnologie sia per quanto riguarda la strumentazione di bordo finalizzata all'acquisizione dei dati richiesti, sia per ospitare l'equipaggio per lo svolgimento delle essenziali attività logistiche.

Le moderne navi sismiche, infatti, sono strutturate in maniera tale da far fronte alle differenti esigenze tra cui: gli alloggi per l'equipaggio, la strumentazione di bordo, un mini eliporto, la scorta di carburante e vettovaglie in grado di garantire una discreta autonomia al natante. Il capitano è il responsabile della sicurezza a bordo della nave a cui spetta l'ultima parola sulle operazioni e le manovre della medesima.

La nave ospita a bordo tutti gli strumenti e le apparecchiature necessari per il rilievo:

- le grandi bobine in cui è raccolto il cavo sismico (*streamer*) con gli idrofoni;
- gli impianti necessari per la generazione dell'impulso elastico in mare (compressori e linee di distribuzione);
- la strumentazione per la registrazione del segnale da parte degli idrofoni;
- le apparecchiature per una preliminare elaborazione;
- gli strumenti di posizionamento per la registrazione in continuo della posizione della nave stessa e degli idrofoni dispiegati.

Nel settore di poppa si svolgono in genere funzioni di manovra come: la conservazione, il dispiegamento e il recupero della strumentazione sismica posta in mare. I cavi sismici sono raccolti in grandi bobine e quando l'acquisizione sismica comincia sono dipanati lungo i lati della nave e direttamente trainati da essa. Tutti gli elementi contenuti all'interno del cavo sismico sono collegati tramite speciali connettori alla sala della strumentazione. Durante le operazioni di prospezione sismica i cavi sismici sono calati in mare tramite uno scivolo che si trova nella parte posteriore del ponte.

All'interno della nave sismica, inoltre, ha sede anche la sala di controllo e registrazione, in cui sono immagazzinati tutti i dati rilevati dagli idrofoni, dalle bussole magnetiche, dai sistemi di posizionamento. Da questa sala vengono anche gestiti gli *air-gun* e tutte le apparecchiature di servizio. Già da subito a bordo della nave è persino possibile eseguire un'analisi preliminare dei dati acquisiti finalizzata sia ad una funzione di controllo della qualità del dato, sia ad una sommaria e parziale interpretazione degli stessi dati.

La tabella seguente riporta le specifiche tecniche della nave sismica che verrà utilizzata per i rilievi (Tabella 2.4):

SPECIFICHE DELLA NAVE SISMICA		
Dimensioni nave	Lunghezza	74.4 m
	Larghezza	17.97 m
	Stazza	4396 (lorda)
Pescaggio		8.5 m
Velocità massima		13 nodi (24,1 km/h)

Tabella 2.4 – Specifiche tecniche della nave sismica

Barca d'appoggio

L'attività della nave sismica verrà accompagnata e supportata da una nave d'appoggio (o supporto) che avrà la funzione di controllare le attrezzature trainate, verificare le condizioni ambientali, far fronte e risolvere qualsiasi problema logistico o richiesta da parte della nave sismica. Questo tipo di imbarcazione è anche in grado di eseguire il traino in caso di emergenza, garantire il rifornimento o il bunkeraggio della nave sismica. Il natante, inoltre, sarà dotato anche di gru da lavoro e la capacità di ospitare ed eseguire i cambiamenti di equipaggio. Talvolta, le più accessoriate, sono persino dotate di eliporto.

La tabella che segue (Tabella 2.5) riporta le specifiche tecniche della nave di appoggio che verrà utilizzata a supporto della nave sismica in merito al progetto di prospezione in esame.

SPECIFICHE DELLA NAVE DI APPOGGIO		
Dimensioni nave	Lunghezza	58,25 m
	Larghezza	12,8 m
	Stazza	4000 ton (circa)
Pescaggio		6.0 m
Velocità massima		12 nodi (22,2 km/h)

Tabella 2.5 – Specifiche tecniche della nave di appoggio

Nave da inseguimento

A supporto della nave sismica è talvolta richiesta anche la presenza di un'altra imbarcazione dedita al disbrigo di semplici ma essenziali attività logistiche che mirino sia a garantire la necessaria sicurezza del personale in mare, sia il buon esito delle operazioni di prospezione. La *Chase ship* (nave da inseguimento) per l'appunto, avrà il compito di garantire che il tragitto a prua della nave sismica sia del tutto sgombero da ostacoli o sia interessato da altre attività come quella di pesca. Tale imbarcazione avrà infatti lo scopo di comunicare e avvisare ai pescatori locali delle operazioni dei ricerca in modo da non interromperne la continuità o verificare la presenza di eventuali altri natanti che possano ostacolare o inficiare le attività al disopra degli *streamer*s.

La tabella che segue (Tabella 2.6) riporta le specifiche tecniche della nave di appoggio che verrà utilizzata a supporto della nave sismica in merito al progetto di prospezione in esame.

SPECIFICHE DELLA NAVE DA INSEGUIMENTO		
Dimensioni nave	Lunghezza	36.00 m
	Larghezza	7.20 m
	Stazza	---
Pescaggio		4.06 m
Velocità massima		11 nodi (20,4 km/h)

Tabella 2.6 – Specifiche tecniche della nave da inseguimento

2.5.5 Modalità operative

Le modalità operative del progetto prevedono una velocità della nave sismica stimata attorno ai 4-5 nodi. Una velocità inferiore inficerebbe il normale stendimento dei cavi e delle attrezzature trainate dal natante con ripercussioni sulla qualità dei dati di acquisizione, mentre una velocità superiore a quella di crociera aumenterebbe la tensione dei cavi di traino e non garantirebbe l'omogeneità e la regolarità degli intervalli di energizzazione.

L'intervallo di energizzazione dipenderà anche dalla risoluzione che si vuole ottenere dell'immagine della geologia del sottosuolo; un usuale punto di energizzazione è di 25 metri ogni 2 *array*, pertanto 50 metri per ogni sorgente. Studi in merito hanno evidenziato che, per una maggiore copertura delle strutture sepolte, l'energizzazione dovrebbe avvenire ad intervalli di 18,75 metri (37,5 metri per ogni sorgente). Inoltre, le sorgenti sismiche adoperate per le attività in oggetto, operano in modalità flip-flop, ossia mentre un *array* carica il colpo, l'altro emette l'impulso così da ottimizzare i tempi. Si sottolinea infine che ogni *array* è composto da diversi *air-gun* che operano all'unisono come un'unica fonte di emissione.

2.5.6 Specifiche tecniche delle metodologie adottate e tempi di esecuzione

Per quanto concerne i dettagli tecnici delle metodologie adottate e le modalità delle attività di prospezione, esse riguardano principalmente aspetti legati all'esatta localizzazione delle linee sismiche che comporranno la griglia di acquisizione, la tempistica e le specifiche relative alle operazioni di supporto. La grande esperienza di Transunion Petroleum, maturata negli anni realizzando attività di esplorazione come quella proposta nel presente report, induce a non fornire a priori valori esatti privi di ragionevoli incertezze. Il motivo risiede nel fatto che le variabili in gioco sono molteplici e relative alle condizioni logistiche, meteorologiche e indeterminazioni varie che possono ripercuotersi sullo svolgimento delle attività stesse e sulle tempistiche. Tuttavia sempre a causa della pregressa esperienza è possibile fornire delle stime confrontando tali dati con le campagne di acquisizione già realizzate.

Allo stato attuale dei fatti, non è ragionevole disporre di una mappa finale della griglia composta dalle singole linee da acquisire. La ragione risiede nell'impossibilità di stabilire con certezza a priori le aree da dettagliare con la ricerca poiché sono funzione delle caratteristiche emerse dagli studi effettuati nella fase precedente e delle caratteristiche riscontrate di volta in volta dall'analisi dei dati raccolti.

Il calendario di massima per l'indagine in corso risulta difficile da stilare alla luce di quanto premesso, sono inoltre da considerare i tempi di inattività e i tempi tecnici di attesa che sono estremamente variabili a seconda delle diverse condizioni trovate in situ. Indicativamente, è possibile stimare una durata complessiva della campagna per l'acquisizione di 200 chilometri di linee sismiche a mare di circa 15 giorni.

2.5.7 Eventuali opere di ripristino

Le attività di prospezione oggetto di questa istanza determinano la produzione di impulsi (onde elastiche) la cui propagazione nell'acqua risulta estremamente limitata nel tempo. L'occupazione dello specchio d'acqua è quindi un fattore di impatto e durata limitata nel tempo, dal momento che al termine delle operazioni la perturbazione della superficie marina cesserà completamente e non verrà lasciata alcuna strumentazione in situ. Inoltre non è prevista la costruzione di alcuna opera, sia essa temporanea o permanente. Pertanto, non è necessaria nessuna opera di ripristino per la tipologia di attività proposta e per l'ambiente in cui verrà eseguita.

2.6 DESCRIZIONI DELLE EVENTUALI OPERAZIONI DI PERFORAZIONE

Una volta ottenuta la titolarità del permesso di ricerca e solo nel caso in cui gli studi svolti nella fase operativa di ricerca confermino la presenza sia di accumuli di idrocarburi economicamente sfruttabili e contemporanea presenza del sistema roccia madre, roccia serbatoio e roccia di copertura e trappola, Transunion Petroleum S.r.l. procederà alla perforazione di un pozzo esplorativo all'interno dell'area in oggetto la cui profondità finale sarà indicativamente di 2700 metri, e comunque in funzione delle caratteristiche geologiche identificate.

Si specifica che l'eventuale fase di perforazione dovrà, in ogni caso, essere sottoposta ad una nuova procedura di valutazione di impatto ambientale, nonché a specifica autorizzazione da parte del Ministero dello Sviluppo Economico.

Le attività sono strettamente legate ai risultati delle indagini sismiche che verranno ottenuti sia dalla rielaborazione dei dati disponibili sia dall'analisi dei dati che verranno acquisiti nella nuova campagna di rilievo sismico, inoltre sono funzione anche del tipo di impianto che verrà scelto per la perforazione del pozzo esplorativo. Pertanto, i dati riportati sono da considerarsi delle descrizioni di massima che però permettono di avere un quadro chiaro e completo delle operazioni previste durante la perforazione di un pozzo esplorativo.

In base ai dati attualmente disponibili, è possibile ipotizzare che l'ubicazione del potenziale "*Prospecy*" da perforare sia ad una profondità d'acqua tale da poter utilizzare un impianto di perforazione "*Semi-sub*" con specifiche tecniche non da "*ultra-deep water*".

Nei punti a seguire verranno riportate in modo schematico le attività legate alla realizzazione di un sito di perforazione di un pozzo, le tecniche usate e le misure di prevenzione a protezione dell'ambiente.

2.6.1 Tipologia delle piattaforme di perforazione *off-shore*

Le tecniche e le attrezzature per la perforazione di pozzi a mare (o perforazione *off-shore*) sono molto simili a quelle usate nei pozzi a terra. Le principali differenze risiedono nella disposizione dell'impianto, delle apparecchiature e in alcuni particolari metodi di conduzione delle operazioni. Sono degli impianti polivalenti, in quanto hanno un ampio spettro di utilizzo, nonostante siano state concepite essenzialmente per la perforazione di pozzi petroliferi. Queste strutture in realtà potrebbero essere usate anche per produrre idrocarburi, una volta che il pozzo è stato completato.

Dal punto di vista delle operazioni, la perforazione a mare può essere suddivisa in due grandi classi, dipendenti dalla profondità del fondale (Treccani, 2009):

- Perforazione con impianti appoggiati sul fondo marino;
- Perforazione con impianti galleggianti.

Nella prima categoria, le attrezzature di sicurezza, che sono sistemi di prevenzione di eruzioni (BOP: Blow Out Preventers) ordinari, sono collocate stabilmente sopra il livello del mare, e sono accessibili dalla

struttura di supporto; in questo caso le operazioni di perforazione sono praticamente identiche a quelle utilizzate nella perforazione a terra.

Nel secondo caso la testa pozzo e le attrezzature di sicurezza (che sono speciali BOP sottomarini) sono collocate in fondo al mare, e quindi non sono accessibili direttamente dalla struttura di supporto. In questo caso, alcune sequenze delle operazioni di perforazione differiscono da quelle a terra, poiché l'impianto non è fermo rispetto alla testa pozzo ma, galleggiando, è soggetto all'azione di vento, correnti e onde marine, che gli imprimono piccoli movimenti orizzontali e verticali. Naturalmente, anche in questo caso il fluido di perforazione deve risalire sull'impianto galleggiante, tramite un'apposita tubazione che collega la testa pozzo sottomarina al natante.

L'utilizzo di impianti galleggianti è necessario per perforazioni esplorative con profondità d'acqua superiore ai 100 m, mentre il limite di profondità in cui è possibile operare in condizioni di sicurezza con tali impianti supera i 3000 m. Ciò chiaramente è riferito soltanto alle operazioni di perforazione esplorativa, e non a quelle successive di sviluppo.

Di seguito sono descritti i principali tipi di impianti per la perforazione di pozzi esplorativi a mare, realizzati con strutture progettate al solo scopo di realizzare il pozzo. Se una o più perforazioni esplorative mettono in luce un giacimento con riserve tali da giustificarne la coltivazione, occorre progettare e predisporre le strutture permanenti di produzione (anch'esse appoggiate o galleggianti), che molto spesso sono in grado di ospitare anche un impianto di perforazione, utilizzato per perforare gli ulteriori pozzi di sviluppo. Le strutture permanenti di produzione degli idrocarburi a mare sono dei complessi impiantistici e strutturali ad alta tecnologia, costruiti secondo concetti e architetture molto variabili, in funzione della profondità dell'acqua.

Tra gli impianti di perforazione appoggiati ai fondali appartengono le piattaforme fisse e le piattaforme di perforazione autosollevanti (*Jack-up*).

Piattaforme fisse

Sviluppate a partire dagli anni trenta, sono costruite con tralicci o gambe in cemento o acciaio ancorati direttamente al fondale marino con un ponte che accoglie la torre di perforazione, le eventuali attrezzature per la perforazione e/o per mettere in produzione il pozzo e gli alloggi per l'equipaggio. Queste piattaforme, grazie alla loro posizione fissa, sono progettate per tempi di utilizzo molto lunghi (ad esempio quando si decide di mettere in produzione un pozzo).

Piattaforme di perforazione autosollevanti (*Jack-up*)

Con lo sviluppo delle perforazioni in acque sempre più profonde la tecnologia di perforazione ha ideato piattaforme autosollevanti o comunemente dette *jack-up* (Figura 2.15). Sono impiegate per fondali di profondità inferiore a 150 metri. Essi devono essere rimorchiati e sono dotati di gambe retrattili che poggiano direttamente sul fondo marino. I *jack-up* sono piattaforme di perforazione, composte principalmente da un piano, sorretto da tre tralicci. Quando occorre spostare il *jack-up* da un punto all'altro, i tralicci sono posti completamente fuori il piano. Essi possono scorrere verso l'alto o il basso, e durante i trasferimenti si trovano in superficie, dunque poggiati sul ponte, il quale a sua volta poggia sul mare galleggiando. La struttura è trainata da rimorchiatori (o navi di appoggio), che lo portano sul punto scelto per perforare il pozzo. Una volta raggiunta la destinazione, i tralicci scorrono all'interno del *deck* e sono affondati nel fondale marino. A questo punto la piattaforma rimane fissa sulla sua postazione di lavoro fino al termine del pozzo. Il *jack-up* viene, infatti, sollevato a un'altezza tale da garantire che eventuali onde non vadano ad allagare il piano di lavoro.

Figura 2.15 – Piattaforma di perforazione autosollevante (*Jack-up*) in navigazione trainata da rimorchiatori, a sinistra (fonte: www.en.murmanshelf.ru) e in fase di perforazione, a destra (fonte: www.pvdrilling.com.vn)

Piattaforme sommergibili

Sono degli impianti di perforazione *off-shore* adatti a fondali da pochissimi metri fino a qualche decina. Sono in grado di galleggiare come natanti, anch'essi devono essere rimorchiati, non essendo dotati di organi motori marini. A differenza dei *jack-up*, quando arrivano nel punto prescelto, riempiono di acqua i cassoni di galleggiamento e si autoaffondano, andandosi ad appoggiare sul fondo del mare. E' importante quindi che il fondale sia piatto e regolare. La dotazione è la stessa di un *jack-up*. A fine pozzo, le pompe svuotano i cassoni dall'acqua e l'impianto va in galleggiamento, pronto a essere rimorchiato altrove.

Compilant tower

Questo genere di piattaforma è costituito da torri strette e flessibili con un pilone di fondazione che sostiene un piano dove si trovano la torre di perforazione e tutte le attrezzature necessarie per la perforazione. Vengono utilizzate in fase di esplorazione o nell'eventuale messa in produzione del pozzo. Tali piattaforme sono progettate per sostenere notevoli sforzi e sollecitazioni laterali e sono usate in genere in acque la cui profondità tra 450 e 900 metri (Figura 2.16).

Figura 2.16 – Pilone di sostegno in navigazione per una Compilant tower (a sinistra) e piattaforma operativa (a destra) (fonte: www.*off-shore*-technology.com)

La perforazione di pozzi esplorativi a mare è fortemente condizionata dalla profondità dell'acqua: oltre i 100 metri circa, l'utilizzo di impianti appoggiati non è più possibile, e occorre quindi impiegare impianti di

perforazione galleggianti, caratterizzati da strutture natanti su cui è installato un impianto di perforazione completo. Gli impianti di perforazione galleggianti si dividono in due grandi categorie: gli impianti di perforazione semisommergibili e le navi di perforazione. In entrambi i casi si tratta sostanzialmente di natanti realizzati in modo da poter ospitare un cantiere di perforazione autonomo, una piattaforma per l'atterraggio di elicotteri, e di alloggiare a bordo tutto il personale, i materiali e le attrezzature.

Piattaforma semisommergibile

Le piattaforme semisommergibili o *semisub* (Figura 2.17) possono lavorare in fondali molto profondi (anche maggiori di 1000 metri). Sono dotate di grossi scafi sommersi (il cui zavorramento definisce il livello della piattaforma sul mare). Le piattaforme semisommergibili sono considerate a tutti gli effetti dei natanti, proprio per la loro capacità di galleggiare e navigare abbastanza agevolmente. Dalla metà degli anni ottanta in poi, i semisommergibili sono stati costruiti come dei catamarani. Queste piattaforme sono realizzate con un piano, che ospita tutte le attrezzature di perforazione ed è installato tramite colonne, le quali a loro volta, poggiano su degli scafi, che permettono il galleggiamento. Sono più grandi dei *jack-up* e possono lavorare in fondali molto più profondi. Questi mezzi sono muniti di eliche, alimentate da motori elettrici. Tali apparecchi sono definiti "*thrusters*", ossia generatori di spinta, che servono a contrastare le correnti marine e i venti di superficie, i quali porterebbero il mezzo alla deriva. Infatti con i *thrusters*, il mezzo può operare in posizionamento satellitare dinamico e riuscire a rimanere perfettamente sulla verticale del pozzo, senza l'ausilio di ancore. Le eliche hanno il compito principale di tenere fermo il mezzo, ed essere adoperati come propulsori ausiliari oppure autonomi in caso non ci siano i rimorchiatori. Ad ogni modo, il mezzo lavora sempre ancorato. Le ancore possono essere nove oppure otto. Questo dipende dalla forma dell'impianto, che visto dall'alto, può avere una conformazione triangolare, oppure quadrata o rettangolare. Il mezzo è progettato in modo che, se una delle ancore dovesse cedere, le altre riescano comunque a mantenerlo in postazione. In funzione della massima profondità d'acqua in cui può operare, e in base al tipo di eliche. Questi tipi di impianti sono classificati in generazioni ed ora si è arrivati alla sesta generazione, ossia piattaforme autopropulse.

Figura 2.17 – Schema di un impianto di perforazione semisommergibile, a sinistra (fonte: Treccani, 2009) e immagine di una piattaforma *semisub* in navigazione, a destra (fonte: www.worldmaritimenews.com)

Qualora per il permesso di istanza di ricerca in oggetto le operazioni di ricerca dovessero avere esiti positivi, per le eventuali operazioni di perforazione la scelta da parte di Transunion Petroleum S.r.l. ricadrebbe probabilmente proprio su questa tipologia di piattaforma.

Navi di perforazione o *drilling ship*

Le navi di perforazione o *drilling ship* (Figura 2.18) possono navigare autonomamente e, come le piattaforme semisommergibili, per mantenere la posizione dello scafo sulla verticale del pozzo utilizzano ancore, cavi e catene oppure il posizionamento satellitare dinamico con propulsori. Nella carena delle navi è ricavata un'apertura attraverso la quale passano le aste e le tubazioni di rivestimento dei fori. Le moderne navi di perforazione sono natanti progettati e costruiti appositamente per funzionare come cantiere di perforazione e sono attrezzati con sistemi tecnologici particolarmente complessi. Essa è ancor oggi il mezzo migliore per perforare pozzi esplorativi in aree remote, lontane dai punti di rifornimento, perché su di essa si può caricare tutto il materiale necessario alla perforazione di un pozzo anche particolarmente impegnativo. Le navi di perforazione ancorate si possono utilizzare fino a profondità dell'ordine di circa 1000 m, mentre per profondità superiori si utilizzano navi a posizionamento dinamico in grado di operare anche in 3000 m d'acqua. In questo caso, il limite alla profondità è imposto solo dal peso e dalla resistenza meccanica del sistema di connessione con la testa pozzo sottomarina.

Figura 2.18 – Esempio di nave di perforazione o *drilling ship* (fonte: www.drillingahead.com)

Tension leg platform o TLP

Piattaforme con gambe in tensione (*Tension leg platforms* o TLP) consistono in un impianto di perforazione galleggiante collegato al fondo marino in maniera da eliminare la maggior parte del movimento verticale

della struttura. Tali impianti sono usati fino a profondità massime di 2000 metri. Esiste anche una versione più piccola usata in acque meno profonde (tra 200 e 1100 metri) dello stesso tipo di piattaforma denominato "*sea star*".

Piattaforma SPAR

Il termine *spar* deriva dall'inglese e indica una tipologia di boa posta in posizione verticale ed ancorata al fondale marino. Le piattaforme tipo SPAR sono ormeggiate al fondo marino con un sistema di linee di ancoraggio convenzionale. Tali piattaforme sono progettate in tre configurazioni principali e di solito operano in acque tra i 600 e 1700 metri.

Bisogna osservare che tali strutture, in caso di messa in produzione del pozzo alla conclusione della fase esplorativa, potranno diventare permanenti o semipermanenti. Di notte o in caso di scarsa visibilità qualsiasi tipo di piattaforma descritta in precedenza dovrà avere un adeguato sistema d'illuminazione per segnalare a eventuali natanti o aeromobili la loro presenza rispettivamente in acqua o aria.

Tutti i tipi di piattaforma descritti in precedenza sono autosufficienti per la generazione dell'elettricità, i desalinizzatori d'acqua e tutto l'equipaggiamento necessario alla perforazione o eventuale messa in produzione del pozzo. Qualsiasi tipo di piattaforma è dotata di un efficiente sistema antincendio (controllato periodicamente) oltre a due o più scialuppe di salvataggio in caso di abbandono della piattaforma stessa. Tutto il personale operante in piattaforma oltre che essere altamente specializzato e avere seguito appositi corsi (antincendio, primo soccorso, sopravvivenza) è periodicamente sottoposto a esercitazioni per simulare casi di emergenza o di abbandono della piattaforma.

Le piattaforme sono assistite costantemente 24 ore su 24 da piccole navi di supporto dette ESV (*Emergency Support Vessel*-Nave appoggio d'emergenza) che in caso di emergenza ha il compito di guidare le operazioni di ricerca e salvataggio. Oltre a questo tipo di nave possono essere presenti a supporto delle operazioni le PSV (*Platform Supply Vessels*-Navi appoggio della piattaforma) per il rifornimento delle scorte alimentari, dell'equipaggiamento necessario all'avanzamento del pozzo durante la perforazione e/o produzione (materiale tubolare come aste di perforazione o casing, altro materiale come il cemento o il fango) o dei cambi del personale.

2.6.2 Sistema di posizionamento dinamico

Un impianto galleggiante può essere mantenuto in posizione relativamente fissa sopra la verticale del pozzo anche tramite sistemi di posizionamento dinamico. Questa tecnologia è necessaria quando la profondità dell'acqua è tale da non poter più utilizzare i sistemi di ancoraggio tradizionali, a causa del peso dei cavi e dell'eccessiva elasticità del sistema. A questo scopo, il natante deve essere munito di coppie di propulsori a elica, poste a poppa, a prua e sulle due fiancate, e mantenute sempre in funzione (Figura 2.19). La testa pozzo, che è sempre posta sul fondo del mare in caso di perforazione con impianti galleggianti, è dotata di un'attrezzatura che invia un segnale acustico verso il natante, sotto la cui chiglia è installata una serie di idrofoni che rilevano il segnale che arriva dal fondo mare. Questo segnale è poi inviato a un dispositivo di controllo elettronico, che procede all'individuazione in tempo reale della posizione del natante rispetto alla testa pozzo e, in funzione del suo spostamento, provvede a ripristinarne la posizione verticale. Rispetto a un sistema ancorato, il posizionamento dinamico ha il vantaggio di permettere una certa possibilità di rotazione del natante, e quindi consente il miglior orientamento nei confronti della direzione del vento, delle correnti e delle onde. I metodi più utilizzati e molto precisi prevedono l'utilizzo di sistemi di posizionamento satellitari GPS.

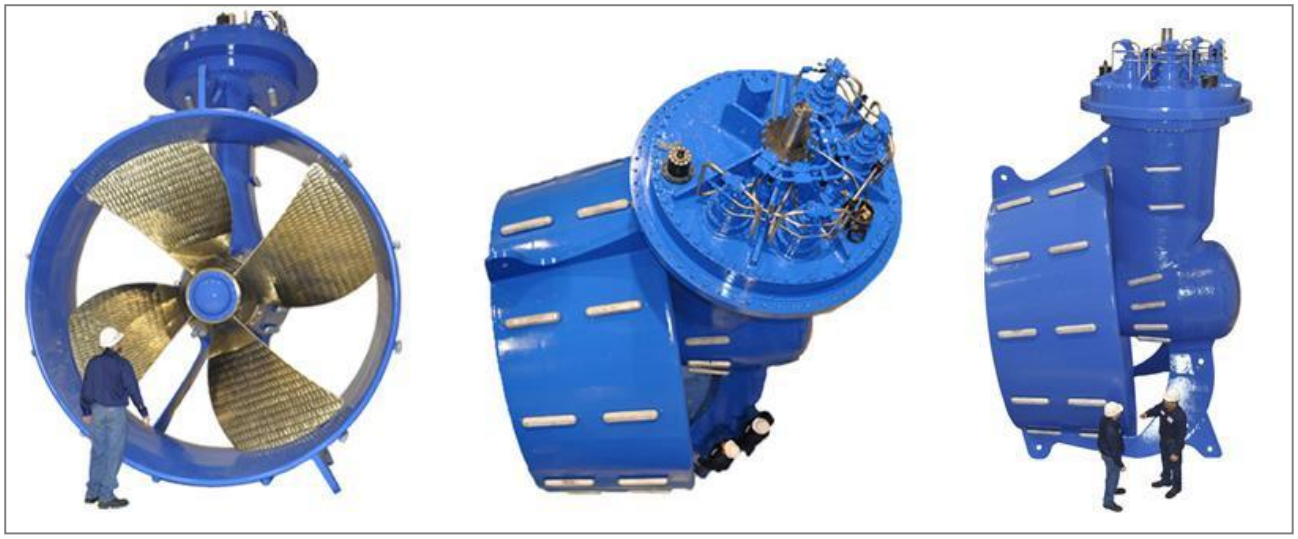

Figura 2.19 – T*hrusters*, generatori di spinta, che servono a contrastare le correnti marine e i venti in superficie, i quali porterebbero il mezzo alla deriva. Il *thrusters* è il mezzo per il posizionamento satellitare dinamico, associato al GPS, più utilizzato ed è in grado di mantenere perfettamente la verticale sulla testa del pozzo (fonte: www.sname.org)

2.6.3 Tecniche di perforazione del pozzo

Le tecniche di perforazione dei pozzi a mare da impianti galleggianti sono sostanzialmente analoghe a quelle utilizzate nei pozzi a terra. Le poche differenze risiedono nel fatto che occorrono alcuni elementi addizionali che permettono di collegare, in sicurezza, il pozzo con l'impianto.

I principali componenti che costruiscono un impianto di perforazione sono:

- torre di perforazione;
- basamento (su cui poggiano argano, tavola rotary e torre);
- vasche e pompe per i fanghi;
- attrezzatura di perforazione.

La torre di perforazione è composta da una struttura di travi in acciaio la cui funzione è di sostenere le pulegge e per sorreggere la batteria di aste per la perforazione.

La prima operazione consiste nel collocare a fondo mare, tramite una batteria di aste, la cosiddetta base di appoggio temporanea, una robusta intelaiatura in acciaio con un foro centrale dotato superiormente d'invito conico, munita di quattro cavi guida e di alcune punte d'acciaio che si infiggono nel fondale e ne impediscono quindi lo spostamento.

La perforazione avviene tramite un sistema rotativo che trasmette il moto di rotazione dalla superficie fino allo scalpello, fissato all'estremità di una batteria di aste tubolari. L'elemento che imprime la rotazione è dato dalla *Tavola Rotary*. La *Tavola Rotary* comprende una piattaforma girevole recante inferiormente una corona dentata la quale trasmette il moto rotatorio alla batteria e allo scalpello, ha la funzione di tenere sospesi i tubi e le aste durante le manovre. La *tavola rotary* imprime il moto rotazionale all'asta motrice a sezione quadrata o esagonale, appesa alla testa di iniezione. A l'asta motrice viene connessa la batteria d'aste. Le aste sono di forma circolare che si distinguono in normali e pesanti (queste ultime vengono montate subito al di sopra dello scalpello in modo da generare un'adeguata spinta sullo stesso). Il pompaggio di fanghi all'interno della batteria di perforazione è fornito dalla testa di iniezione che funziona da connessione tra il gancio della taglia mobile e la batteria di aste.

Il moto rotazionale negli impianti più moderni è rappresentato da una testa motrice detta *top drive* che raggruppa in un unico sistema i tre elementi sopra descritti. Esso è sospeso alla taglia mobile per mezzo di un apposito gancio dotato di guide di scorrimento, nel *top drive* sono quindi incluse la testa di iniezione un sistema per l'avvitamento e lo svitamento della batteria di perforazione e un sistema di valvole per il controllo del fango pompato in pozzo (Figura 2.20).

Il vero e proprio strumento atto alla perforazione è rappresentato dallo scalpello che viene fatto ruotare attraverso una batteria di aste cave azionate dalla *tavola rotary* e contemporaneamente spinto nel fondo del foro. Con il proseguire dell'approfondimento del pozzo lo scalpello va incontro ad usura, quindi deve essere ciclicamente sostituito. Lo scalpello viene azionato dalla batteria di perforazione. La prima delle aste appartenenti alla batteria è detta asta motrice e passa attraverso la *tavola rotary*. Essa è connessa al gancio manovrato attraverso la torre di perforazione. Il fango di perforazione è immesso all'interno del foro attraverso la tubazione di mandata del fango. Tali fanghi sono fluidi di perforazione che vengono fatti circolare all'interno delle aste e nell'intercapedine tra queste e le pareti del foro. I fanghi sono normalmente costituiti fa una fase liquida (acqua dolce) che viene resa colloidale ed appesantita attraverso l'uso di appositi prodotti. Le proprietà colloidali necessarie per mantenere in sospensione i detriti e per costruire un pannello di rivestimento sulle pareti finali del pozzo al fine di evitare infiltrazioni e/o perdite, vengono favorite dalla presenza della bentonite e da altri particolari polimeri polivinilici e silicati.

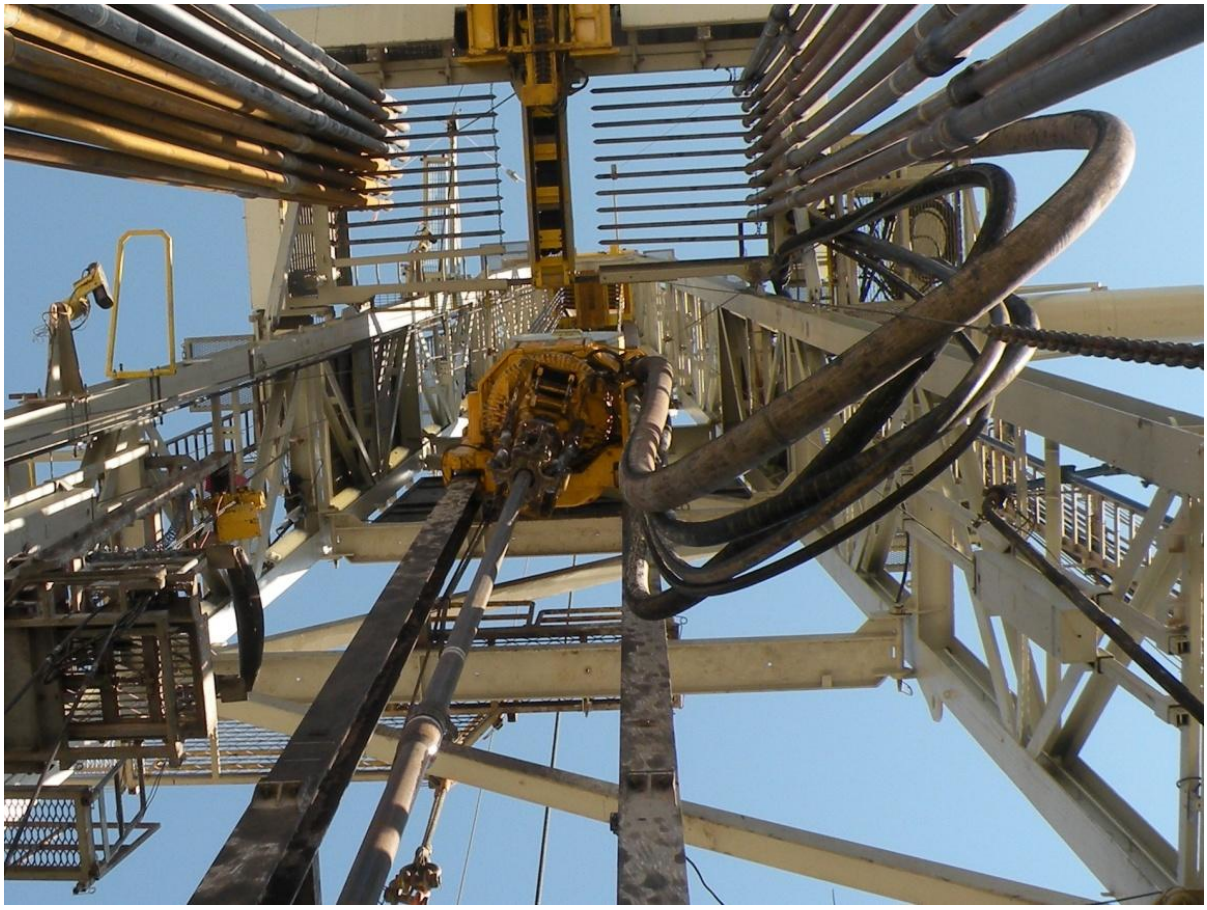

Figura 2.20 – Torre di perforazione dove il moto rotazionale è affidato al *top drive*

Il fango di perforazione ha numerose funzioni, tra le quali garantisce il sollevamento e la rimozione dei detriti (cuttings) dal fondo pozzo verso la superficie. Il fango per compiere queste azioni deve avere determinate caratteristiche di viscosità e densità. Un'altra funzione importante è quella di garantire il

raffreddamento e la lubrificazione dello scalpello e della batteria di perforazione al fine di ridurre la frizione che si crea tra le aste di perforazione e le pareti del foro. Contribuisce al contenimento dei fluidi di strato presenti nelle formazioni attraversate grazie all'effetto della pressione idrostatica esercitata dalla colonna di fango in foro. Perché ciò avvenga la pressione idrostatica del fango deve essere superiore alla pressione di formazione, altrimenti i fluidi di strato entrerebbero in pozzo risalendo in superficie, creando problemi come il *kick* o *blow out*. La pressione idrostatica del fango è data dal suo peso specifico moltiplicato per la profondità per cui per aumentarla basta appesantire il fango aggiungendo dei materiali inerti che non vanno in soluzione, ma rimangono in sospensione non andando ad alterare le caratteristiche del fango. Il fango riesce a stabilizzare le pareti del pozzo. Nel caso di formazioni porose, avviene una certa filtrazione del fango e mentre la parte liquida dei fanghi tende a penetrare nella formazione, la parte solida si separa e forma una sorta di pellicola (detta *mud cake*) che impedisce ulteriori infiltrazioni aggiungendo stabilità al foro stesso. Grazie alla sua "tissotropia", quando si sospende il pompaggio tutti i detriti perforati che non sono ancora usciti dal pozzo, invece di ricadere al fondo rimangono in sospensione alla profondità a cui erano arrivati risalendo.

Lo studio dei fanghi fornisce numerose informazioni riguardanti le formazioni attraversate. L'analisi dei *cutting* portati in superficie dai fanghi sono importanti per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

Il fango utilizzato dipende principalmente dalle rocce attraversate durante la perforazione e dalla temperatura nel sottosuolo con l'aumentare della profondità. Durante la stessa perforazione possono essere impiegati fanghi con caratteristiche diverse a seconda delle differenti situazioni che si possono incontrare durante l'avanzamento del pozzo. Il confezionamento del fango avviene in apposite vasche, aggiungendo all'acqua la bentonite ed il resto degli additivi che servono a conferirgli le caratteristiche chimico fisiche desiderate. I fanghi possono essere a base d'acqua (dolce o salata) oppure fanghi a base d'olio (cioè prodotti a base d'idrocarburi). A questi, vengono comunemente addizionati altri materiali con funzione di viscosizzanti per migliorare la capacità di trasporto o di appesantimento. Vengono inoltre utilizzati altri additivi chimici per controllare la capacità di fluidificazione dei fanghi, variare la loro viscosità, oppure antischiumogeni, lubrificanti o anticorrosivi. È importante comunque assicurare un continuo controllo sulle proprietà fisico-chimiche dei fanghi durante le varie fasi di perforazione.

Mano a mano che la perforazione prosegue in profondità, si prosegue a rinforzare le pareti del foro con particolari rivestimenti chiamati *casing* con lo scopo di sostenere le pareti e evitare possibili crolli che andrebbero a rallentare le operazioni di perforazione (Figura 2.21).

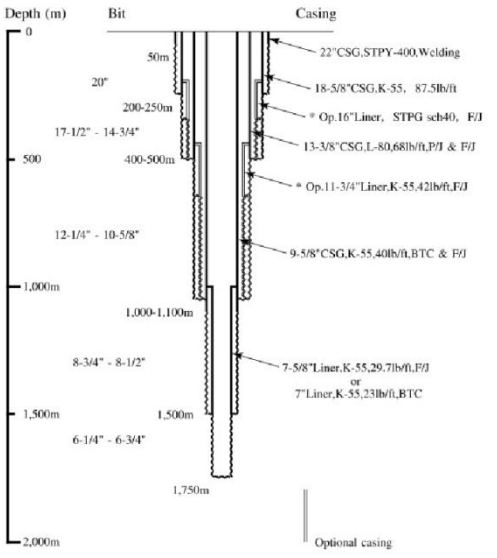

Figura 2.21 – Profilo di un pozzo. A destra è possibile osservare che il diametro del *casing* diminuisce con l'aumentare della profondità (fonte: www.sciencedirect.com). A sinistra particolare di una batteria di *casing*.

La fase di perforazione è garantita da una continua analisi dei detriti di perforazione, con il controllo dei fluidi di perforazione e attraverso acquisizione e elaborazione dei vari parametri di perforazione. Tale attività è finalizzata al riconoscimento, in tempo reale, dell'eventuale presenza di idrocarburi nelle formazioni attraversate e al monitoraggio in maniera continuativa delle condizioni operative nel pozzo. Tale attività è conosciuta come *mud logging* e operata dal *mud logger*.

Assieme all'analisi dei fanghi viene effettuata la registrazione dei carotaggi elettrici è raccogliendo informazioni riguardanti le proprietà delle formazioni attraversate, quali litologia, resistività, porosità, saturazione dei fluidi, permeabilità. In questo modo è possibile accertare l'eventuale presenza di gas biogenici. La registrazione dei *log* elettrici è affidata ad appositi strumenti che verranno calati nel foro (*logging tools*) a misurare i parametri sopra elencati.

In caso di identificazione positiva di formazioni contenenti idrocarburi, si potranno prevedere prove di produzione.

Il programma di prove di produzione, non prevedibile allo stato attuale, sarà predisposto quando la geologia del sito e la natura dei fluidi presenti saranno definiti nel dettaglio. Lo scopo del test è finalizzato alla verifica della possibilità di portare gli idrocarburi in superficie.

Nella fase di *clean-up* saranno portati in superficie, sia gli idrocarburi (gas, condensati e grezzo), fango, acqua e detriti e tale flusso sarà indirizzato in apposite apparecchiature dove avverrà la separazione dei gas dai liquidi. Qualora in superficie giungesse olio, il test verrà subito interrotto poiché la messa in produzione del pozzo non è prevista durante questa fase. L'olio sarà, quindi, raccolto in un serbatoio dedicato per essere in seguito rinviato nella formazione di provenienza, mentre il gas verrà bruciato in torcia.

Il *clean-up* del pozzo è stimata al massimo in una durata di circa 48 ore, mentre quella del flusso di collaudo di circa 72 ore.

2.6.4 Attività conclusive

Nel caso in cui l'esito del sondaggio risulti positivo e vengano intercettate zone di accumulo di idrocarburi economicamente sfruttabili, si passerà al completamento del pozzo. L'insieme delle operazioni da effettuare saranno necessarie a consentire la messa in produzione del pozzo in condizioni di sicurezza. Le procedure di completamento di un pozzo si dividono in due grandi categorie:

- a foro scoperto;
- a foro tubato.

Quest'ultimi sono i più impiegati, in quanto la tecnica garantisce una maggiore stabilità del foro. Nel foro tubato il completamento avviene in un pozzo che è stato rivestito e cementato per tutto il suo sviluppo. Per poter garantire la produzione è necessario ristabilire la comunicazione idraulica tra i livelli mineralizzati e il foro. Per il completamento del pozzo si utilizza la stringa di completamento, che può essere singola o multipla.

Attraverso il *well testing* si procede all'accertamento minerario per la verifica del rendimento reale dei livelli produttivi individuati. Successivamente alla perforazione e al completamento del pozzo, verranno effettuate delle prove di erogazione di breve durata. Questi test vengono eseguiti per valutare la portata di erogazione dal pozzo in funzione delle diverse aperture delle valvole di flusso e il tempo di risalita della

pressione statica di testa pozzo, al fine di ricavare informazioni sulla capacità del *reservoir*. Il gas prodotto verrà analizzato dall'impianto di prova e smaltito attraverso la fiaccola.

Nel caso in cui si voglia procedere alla chiusura mineraria del pozzo a seguito di risultati negativi provenienti dalle prove di produzione (e quindi il pozzo risulti sterile o scarsamente produttivo) si procederà al ripristino delle condizioni idrauliche iniziali al fine di isolare i fluidi di strato in modo da evitare l'inquinamento delle acque superficiali.

La chiusura del pozzo prevede i seguenti elementi:

- Tappi di cemento: tappi di malta cementizia che vengono inseriti nel pozzo per chiudere i diversi tratti del foro;
- *Squeeze*: iniezione di malta cementizia in pressione verso le formazioni tramite di appositi "*cement retainer*" con lo scopo di chiudere gli strati attraversati durante le prove di produzione;
- *Bridge plug*: dei tappi meccanici fatti scendere nel pozzo con le aste di perforazione e fissati con dei cunei alla parete della colonna di rivestimento. Un *packer* si espande contro le pareti della colonna isolando la zona sottostante da quella superiore;
- Fanghi: fanghi di opportuna densità vengono immessi nelle sezioni libere del foro, tra un tappo e l'altro, in modo tale da controllare le pressioni al di sopra dei tappi di cemento e dei bridge *plug*.

Il numero dei tappi e la loro posizione dipendono dalla profondità raggiunta, dal tipo e profondità delle colonne di rivestimento e dai risultati geologici e minerari (eventuali livelli produttivi individuati) del sondaggio, pertanto nel caso dell'eventuale chiusura mineraria il programma dettagliato sarà formalizzato al termine dell'attività di perforazione e/o delle prove di produzione e sottoposto all'approvazione della competente autorità.

2.6.5 Tecniche di prevenzione dei rischi ambientali

Si ricorda che l'eventuale attività di perforazione di un pozzo esplorativo all'interno dell'area in oggetto è strettamente legata ai risultati ottenuti delle indagini sismiche, oggetto del presente studio ambientale, e dovrà, in ogni caso, essere sottoposta ad una nuova procedura di Valutazione di Impatto Ambientale. Pertanto, in tale sede, verranno analizzati in dettaglio i rischi ambientali inerenti le attività di perforazione e le opportune mitigazioni da attuare. Al fine di salvaguardare l'ambiente circostante da tutti quegli eventi incidentali che potrebbero perturbare il suo naturale stato, verranno messe in atto, durante la fase di allestimento della postazione, una serie di misure preventive attraverso l'utilizzo di dispositivi in modo da ridurre i rischi connessi alle attività di perforazione.

2.7 EMISSIONI SONORE

Le onde acustiche sono onde meccaniche longitudinali che si propagano, a partire dalla sorgente, in tutte le direzioni dello spazio tridimensionale. Le molecole investite dall'onda vibrano lungo il raggio di propagazione e quindi nella stessa direzione di propagazione dell'onda, provocando fasi alternate di compressione, alta densità e pressione, e di rarefazione, bassa densità e pressione, del mezzo attraversato. Le onde sonore sono onde acustiche comprese fra 20 Hz e 20 kHz, cioè l'intervallo di frequenze udibili dall'orecchio umano. Onde acustiche di frequenza inferiore a 20 Hz si dicono infrasuoni, onde acustiche di frequenza superiore a 20 kHz si dicono ultrasuoni.

In mare le principali sorgenti acustiche possono essere di origine naturale, provocate da mammiferi marini, terremoti, moto ondoso e piogge, oppure di origine antropica, dovute al traffico navale, lavori di

costruzione ed attività costiere, ecoscandagli, *sonar* militari e civili, indagini geosismiche ed esperimenti oceanografici, generatori eolici.

Uno tra i primi studi condotti sul rumore dell'ambiente nei sistemi marini, e che tutt'oggi costituisce ancora un valido punto di riferimento è stato condotto negli anni' 60 da Wenz (Wenz, 1962) ed è riassunto nella sottostante Figura 2.22. Da essa si può notare come le varie sorgenti naturali, a carattere sia intermittente che continuo, abbraccino una porzione considerevole dello spettro sonoro, andando dai pochi Hz fino alle centinaia di kHz.

Ad ogni singolo *air-gun* è associabile un livello sonoro tra 215-230 dB re 1 µPa, con una concentrazione dell'energia tra i 10 ed i 300 Hz (Greene et al., 1994) e, se utilizzato in acque poco profonde (20-25 metri), può essere udibile anche in aree distanti decine di chilometri.

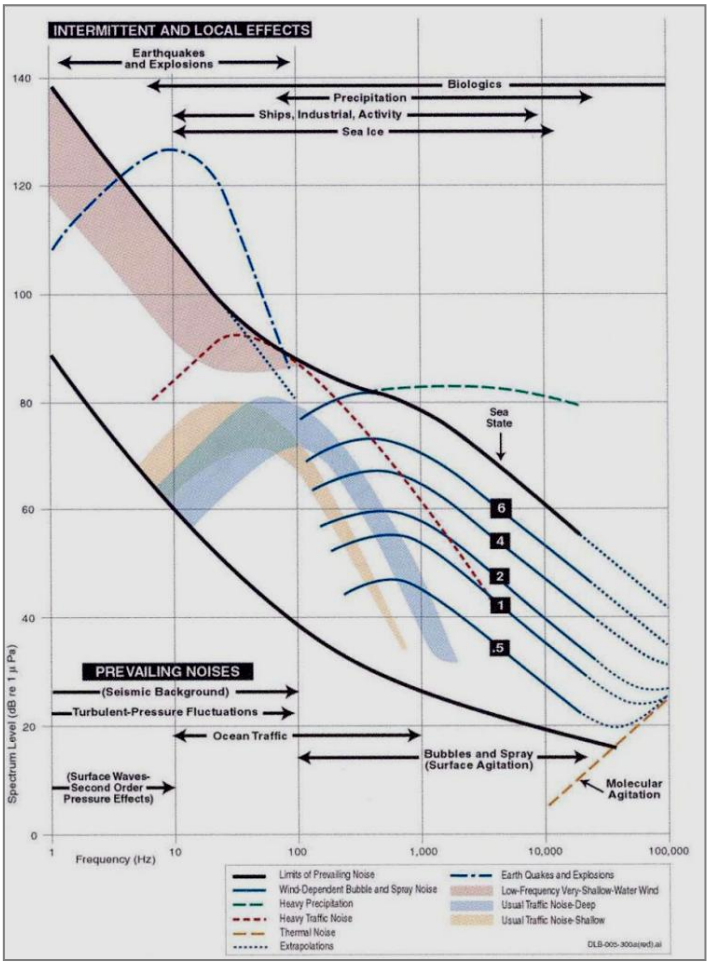

Figura 2.22 – Curve di Wenz: l'asse verticale mostra i valori dei livelli sonori (dB re 1 µPa), mentre quello orizzontale le frequenze (fonte: Wenz, 1962)

Il fenomeno di propagazione delle onde sonore è molto complesso e funzione di diversi fattori e parametri fisici. Generalmente la velocità con cui le onde sonore si propagano attraverso un qualsiasi mezzo (gassoso, liquido o solido) non è una costante in ogni punto, ma dipende dalle caratteristiche del mezzo stesso. Essa, infatti, aumenta al diminuire di tre parametri, quali temperatura, livello di salinità e pressione. In questo ambito si parla più frequentemente di pressione intesa in *sensu latu* come profondità dal momento che, con l'aumentare della prima, la pressione aumenta in modo lineare. La temperatura e la salinità, invece, variano secondo latitudine, stagione, ora del giorno, condizioni meteorologiche e altri fattori oceanografici.

I tre parametri citati modificano il valore della velocità di propagazione secondo la seguente formula di Mackenzie (1981):

$$c(P,S,T) = 1448.96 + 4.591\,T - 5.304 \times 10^{-2}\,T^2 + 2.374 \times 10^{-4}\,T^3 + 1.340\,(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2}\,P + 1.675 \times 10^{-7}\,P^2 - 1.025 \times 10^{-2}\,T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13}\,TP^3$$

dove:

c = velocità del suono (m/s); T = temperatura (°C); S = salinità (*ppt*) e P = profondità (m).

Questa relazione fornisce un errore di 0,07 m/s ed è valida entro valori di temperatura tra 0 e 30 °C, livello di salinità tra 25 e 40 *ppt* e profondità tra 0 e 8000 metri.

Il valore convenzionale della velocità del suono in acqua, ad una temperatura di riferimento di 23°C, è di circa 1500 m/s, ovvero circa 4,3 volte il valore in aria.

2.8 OCCUPAZIONE DELLO SPECCHIO D'ACQUA

La durata della campagna sismica si aggira attorno a 15 giorni durante i quali l'area in istanza di ricerca verrà occupata dalle varie strumentazioni ed imbarcazioni. L'occupazione dello specchio d'acqua è un fattore d'impatto a durata limitata e al termine delle operazioni, si provvederà al recupero dell'area indagata ed alla restituzione dell'originaria destinazione d'uso. Verranno rimosse tutte le attrezzature al termine della sessione di indagine.

L'impatto potenziale durante la fase di acquisizione è estremamente ridotto, dato che le attrezzature presentano modeste dimensioni. L'impatto della nave sismica è assimilabile all'impatto del normale traffico marittimo di pescherecci e traghetti presente nella zona del Golfo di Taranto.

Al fine di ridurre al minimo le interferenze indotte dalle attività in progetto con la navigazione, inclusa quella finalizzata alla pesca, è prevista la suddivisione dell'area indagata in zone che verranno analizzate di volta in volta in successione. Inoltre, durante l'acquisizione, Il proponente fornirà alle Capitanerie di Porto aventi giurisdizione sulla zona oggetto di indagine un calendario settimanale delle operazioni che verranno svolte e delle zone che saranno interessate dall'attività proposta. Sarà inoltre presente un rappresentate locale che si occuperà di mantenere i contatti con le autorità coinvolte.

Con lo scopo di limitare al più possibile qualsiasi eventuale interferenza tra l'attività proposta e le attività di pesca presenti nell'area, Transunion Petroleum si impegna ad effettuare il rilievo sismico esclusivamente al di fuori dei periodi di maggiore attività riproduttiva delle specie maggiormente commercializzate, corrispondenti al periodo primaverile.

In base alle norme di sicurezza sulla navigazione, durante le attività di prospezione sismica, sarà momentaneamente interdetta la navigazione lungo le rotte che interferiranno all'interno del blocco di ricerca con previa comunicazione Autorità marittime competenti. L'interferenza che si potrebbe generare con il traffico marittimo presente nello Ionio settentrionale e nel Golfo di Taranto, è comunque di carattere temporaneo e trascurabile, visto il fatto che le rotte marittime principali sono localizzate verso il porto di Taranto, al di fuori dell'area oggetto di indagine sismica.

La navigazione in condizioni di sicurezza è garantita da opportuni regolamenti nel Codice della Navigazione. Le attività di prospezioni sismiche e le ricerche scientifiche in genere sono comunicati periodicamente con diversi sistemi dall'Istituto Idrografico della Marina e pubblicazione sul Fascicolo Avvisi ai Naviganti, con lo scopo di far conoscere agli utenti tutte le notizie, sia di carattere temporaneo che definitivo, riguardanti la sicurezza della navigazione. In base alle norme di sicurezza sulla navigazione, è previsto che le navi e le

imbarcazioni di qualsiasi genere non impegnate nelle prospezioni debbano mantenersi a distanza di sicurezza dall'unità che effettua i rilievi (normalmente non inferiore a 3.000 m dalla poppa per tutta l'ampiezza del settore di 180° a poppavia del traverso della stessa) ed in ogni caso evitare di intralciarne la rotta. Pertanto sarà interdetta la navigazione lungo le rotte che verranno comunicate alle Autorità marittime competenti.

L'interferenza che si potrebbe generare con l'attività di pesca è di carattere temporaneo, limitato e del tutto trascurabile, dovuto al fatto che si conosceranno a priori le rotte interessate dalla nave geofisica, dando modo ai pescatori di poter scegliere quotidianamente aree alternative a quelle più prossime alla prospezione.

2.9 EMISSIONI IN ATMOSFERA

Come per quando elencato nel capito precedente dei rifiuti, la convenzione MARPOL regola la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da scarichi dei motori marini attraverso l'Annesso 6. Quest'ultimo, adottato nel 1997, è entrato in vigore il maggio 2005, dodici mesi dopo il raggiungimento delle condizioni che erano state prefissate. L'Annesso 6 si applica alle navi il cui paese di bandiera abbia ratificato il protocollo 1997 e a tutte le navi che pur battendo bandiera di paesi che non sono firmatari, operano in acque la cui competenza è di paesi aderenti a tale protocollo. Nel dettaglio l'Annesso 6 regola le seguenti emissioni in atmosfera:

- le emissioni provenienti da sostanze che influenzano lo strato di ozono nell'atmosfera come gas refrigeranti e /o antincendio;
- le emissioni di ossidi di azoto e di zolfo presenti nei gas di scarico dei motori a combustione interna;
- i componenti organici volatili (VOC) provenienti dalla zona del carico di navi cisterna;
- le emissioni prodotte da inceneritori.

A bordo della nave sismica e di quella di appoggio, saranno quindi regolarmente controllati i fumi di scarico per l'efficienza dei sistemi di combustione ed acquisite le necessarie certificazioni di conformità alle emissioni di inquinanti atmosferici. La campagna sismica avrà una durata di circa 15 giorni, pertanto gli impatti generati da emissioni in atmosfera sono di carattere temporaneo, strettamente legato alla durata delle operazioni ed alla posizione della nave.

Gli impatti in atmosfera sulla qualità dell'aria legati dalle attività preposte per questa acquisizione sono da ritenersi trascurabili, considerato che non vi sono punti emissivi fissi e che l'unico impatto in atmosfera può derivare dalle emissioni prodotte dalla nave sismica e dalla nave di appoggio del tutto assimilabili alle emissioni attribuibili a imbarcazioni come i pescherecci che abitualmente transitano nella zona.

2.10 RIFIUTI

La convenzione MARPOL 73/78 (MARitime POLlution) detta le linee guida sulla prevenzione dell'inquinamento provocato da navi ed i relativi annessi. Rappresenta una convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento a mare legato dalle attività navali ed è il risultato tra la combinazione di due precedenti trattati internazionali:

- La convenzione del 1973, che ha modificato la precedente Convenzione Internazionale per la Prevenzione dell'Inquinamento delle Acque Marine da idrocarburi (OILPOL), firmata a Londra il 12 maggio 1954, ratificata dall'Italia con la Legge 23 febbraio 1961, n. 238;
- Il protocollo del 1978, firmato durante la Conferenza TSPP (*Tanker Safety Pollution Prevention*) organizzata in seguito ai disastri ambientali causati da petroliere alla fine degli anni '70.

La convenzione MARPOL 73/78 col trascorrere del tempo ha subito numerose modifiche ed integrazioni finalizzate a continui aggiornamenti per fornire una maggiore tutela e conservazione dell'ambiente marino, riguarda disposizioni inerenti l'inquinamento prodotto dalle navi sia nelle operazioni di routine, sia in maniera accidentale da qualsiasi sostanza ritenuta inquinante. La convenzione MARPOL, pertanto, rappresenta la principale convenzione internazionale operante ad opera della salvaguardia dell'ambiente marino.

La convenzione a febbraio 2012 è stata ratificata da 151 nazioni aderenti all'IMO ed include al suo interno sei allegati tecnici, di cui i solamente i primi due obbligatori. Tale norma in Italia è stata recepita dalle leggi 462/80 (MARPOL '73) e 438/82 (TSPP '78).

È composta da 20 articoli e 6 annessi. Gli annessi, a loro volta, sono suddivisi in capitoli. Il protocollo aggiornato al 1978 contiene delle modifiche rispetto al testo originale del 1973 seguite all'*International Conference on Tanker Safety Pollution and Prevention* (TSPP '78) che rende obbligatorio quanto contenuto negli annessi I e II. Assieme alle norme per la prevenzione dall'inquinamento da rifiuti, acque da scarico, oli minerali, sostanze nocive, etc., gli annessi stabiliscono l'esistenza di zone speciali nelle quali, per le loro caratteristiche (scarsa circolazione, mari chiusi, etc.), richiedono l'adozione di metodi obbligatori per la prevenzione dell'inquinamento.

Gli annessi si riferiscono a specifiche tipologie di inquinamento o rifiuto prodotto che potrebbero potenzialmente prodursi durante le attività marittime. Nello specifico vengono elencati in (www.naturaitalia.it):

- Annesso 1 – Norme per l'inquinamento da oli minerali;
- Annesso 2 – Norme per la prevenzione dell'inquinamento da sostanze liquide pericolose (entrato in vigore nel 1987);
- Annesso 3 – Norme per la prevenzione dell'inquinamento da sostanze inquinanti trasportate per mare in imballaggi (entrato in vigore nel 1992);
- Annesso 4 – Norme per la prevenzione dell'inquinamento da liquami scaricati dalle navi (entrato in vigore nel 2003);
- Annesso 5 – Norme per la prevenzione dell'inquinamento da rifiuti solidi (entrato in vigore nel 1988);
- Annesso 6 – Norme per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da scarichi dei motori marini (entrato in vigore nel 2005).

I rifiuti organici prodotti dalle navi impiegate verranno opportunamente trattati secondo la convenziona sopra descritta, mentre non è prevista la produzione di rifiuti strettamente correlati all'attività di acquisizione sismica in oggetto.